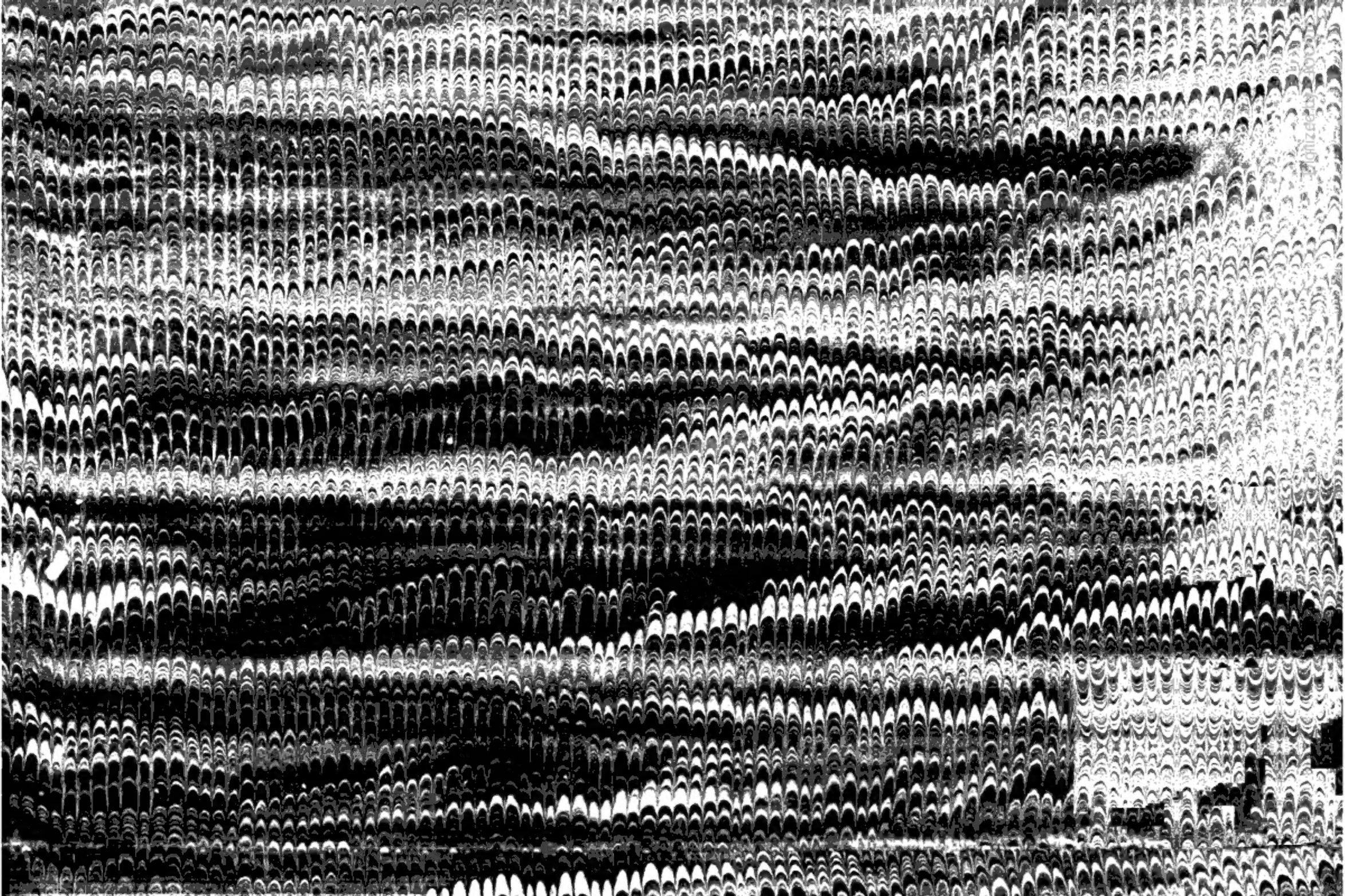
3 501

Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Physikalisches Lexikon.

Encyklopädie

der

Physik und ihrer Hilfswissenschaften: der Technologie, Chemie, Meteorologie, Geographie, Geologie, Astronomie, Physiologie ꝛc. nach dem Grade ihrer Verwandtschaft mit der Physik.

Zweite,

in Verbindung mit mehren Gelehrten unter Benutzung der neusten Schriften des In- und Auslandes neu bearbeitete, mit Angabe der Literatur und der Quellen bereicherte, mit mehren Tausend in den Text gedruckten Abbildungen von Apparaten, Instrumenten und Maschinen ausgestattete und zahlreiche Tabellen enthaltende Auflage.

Begonnen von

Prof. Dr. Oswald Marbach.

Fortgesetzt von

Dr. C. S. Cornelius,

Docent an der Universität Halle.

Vierter Band.

I—M.

Leipzig

Verlag von Otto Wigand.

1856.

Digitized by Google

Digitized by Google

Q121
M3
1851
v.4

Jahr (annus; an, année; year) heißt im Allgemeinen die Zeit, binnen welcher die Erde ihre Bahn um die Sonne zurücklegt, oder die Sonne wieder zu derſelben Stellung am Himmel zurückkehrt.

Da die Erſcheinungen der Jahreszeiten, der längſten und kürzeſten Tage, des Auf- und Untergehens der Geſtirne an demſelben Orte von der Bewegung der Erde um die Sonne abhängig ſind, ſo mußte man ſchon ſehr früh auf die Zeiteintheilung nach Jahren verfallen. Man mußte bemerken, daß z. B. ein Stern, welcher an einem gewiſſen Tage gleich nach Sonnenuntergang am öſtlichen Himmel erſchien, nach jedesmal 365 Tagen ebendaſelbſt wieder zu ſehen war. Der ſo hell glänzende Sirius ſcheint in dieſer Beziehung zuerſt die Aufmerkſamkeit auf ſich gezogen zu haben. Eben ſo mußte man bemerken, daß 365 Tage von einem kürzeſten Tage bis zum nächſten vergingen, desgleichen von einem längſten Tage bis zu dem nächſten, von der Frühlings- Tag- und Nachtgleiche oder der Herbſt- Tag- und Nachtgleiche bis zu der entſprechenden nächſten. Den Zeitraum zwiſchen zwei auf einander folgenden längſten oder kürzeſten Tagen fand man, wenn man die Tage beobachtete, an welchen der Schatten eines Gnomons (ſ. Art. Meridian) um Mittag, alſo bei dem höchſten Tagesſtande der Sonne, am kürzeſten oder am längſten war. Die Tage der Tag- und Nachtgleichen konnte man mit einem in der Ebene des Aequators aufgeſtellten großen Ringe ermitteln, indem man beobachtete, wann der Schatten der vorderen Hälfte genau auf die hintere Hälfte fiel. Den alten Aegyptern war es auch bekannt, daß zu Syene in Ober-Aegypten (unter dem Wendekreiſe des Krebſes) die Sonne nur einmal während eines Jahres am Mittag ihr Bild in dem Waſſer eines Brunnen ſpiegele, während noch weiter ſüdlich dieſe Erſcheinung zweimal jährlich eintrat und zwar an Tagen, welche um ſo weiter aus einander lagen, je näher der Brunnen dem Aequator war, und bei nördlicher gelegenen Brunnen ein Gleiches nie beobachtet wurde. Es war alſo nur nöthig von dem Tage, an welchem zu Syene die eben erwähnte Erſcheinung ſtattfand, bis zu dem nächſten zu zählen, an welchem ſie wieder eintrat, um die Länge des Jahres nach Tagen kennen zu lernen.

Die Erde braucht, um ihre Bahn von ungefähr 131 Millionen Meilen zu durchlaufen, nach den zuverläſſigſten Beobachtungen und Berechnungen der neueren Aſtronomen 365 mittlere Sonnentage 5 Stunden 48 Minuten und

Digitized by Google

47,81 Secunden = 365,24222 mittlere Tage *). Dieſer Zeitraum heißt ein tropiſches Sonnenjahr, und iſt die Zeit, welche zwiſchen 2 Frühlingsnachtgleichen, zwiſchen 2 Herbſtnachtgleichen, zwiſchen 2 längſten Tagen und zwiſchen 2 kürzeſten Tagen vergeht. Es iſt dieſes Jahr am wichtigſten für die menſchlichen Verhältniſſe, weil ſich durch daſſelbe die Jahreszeiten und die mit dieſen in nothwendiger Beziehung ſtehenden bürgerlichen Geſchäfte am leichteſten reguliren laſſen.

Von dem tropiſchen Sonnenjahre iſt zu unterſcheiden das ſideriſche Sonnenjahr oder der Zeitraum, wo von der Sonne aus geſehen die Erde bei dem nämlichen Fixſterne erſcheint. Für die Erdbewohner kehrt nach Verlauf eines ſideriſchen Sonnenjahres die Sonne zu derſelben Stellung gegen die Sterne zurück. Der Unterſchied zwiſchen dem tropiſchen und ſideriſchen Sonnenjahre iſt bedingt durch das Fortrücken des Nachtgleichenpunktes unter den Sternen (ſ. Artikel Nachtgleichen), indem die Fixſterne ihre Länge jährlich um 50,1 Raumſecunden vermehren, d. h. der Sonne um ſo viel entgegen rücken. Im ſideriſchen Jahre durchläuft die Sonne gerade 360° am Himmel, die hierzu erforderliche Zeit iſt aber größer, als die, welche zwiſchen zwei Durchgängen der Sonne durch die Frühlingsnachtgleiche verfließt. Die Sonne muß noch die eben angegebenen 50″,1 mehr als im tropiſchen Jahre durchlaufen, um wieder dieſelbe Stellung zu den Fixſternen zu erhalten, d. h. das ſideriſche Jahr iſt um ſo viel länger als das tropiſche Jahr, als die Zeit beträgt, in welcher die Sonne um 50″,1 ſich fortbewegt. Es beträgt folglich das ſideriſche Sonnenjahr 365 mittlere Sonnentage 6 Stunden 9 Minuten und 10,75 Secunden = 365,25637 mittlere Tage.

Die Bahn der Erde iſt eine Ellipſe **), welche nicht genau dieſelbe Lage im Weltraume behält, ſondern deren große Axe, Apſidenlinie, ihre Lage gegen die Sterne jährlich um 11,8 Raumſecunden verändert. Diejenige Zeit nun, welche die Erde braucht, um zu derſelben Stelle ihrer elliptiſchen Bahn zurückzukehren, oder dieſelbe Anomalie (ſ. Art. Anomalie) wieder zu erreichen, heißt das anomaliſtiſche Jahr und iſt um 5 Minuten 12 Secunden größer, als das ſideriſche, alſo = 365 mittleren Sonnentagen 6 Stunden 14 Minuten und 22,75 Secunden.

Im bürgerlichen Leben iſt, wie bereits oben angegeben wurde, das tropiſche Sonnenjahr das wichtigſte, und nach demſelben iſt auch mit wenigen Ausnahmen ſeit den älteſten Zeiten allgemein gerechnet worden. Wir haben geſehen, daß bei der Beſtimmung der Länge dieſes Jahres nach Tagen nichts anderes geſchieht, als daß angegeben wird, wie viel Mal die Sonne ihren ſcheinbaren Lauf um die Erde zu machen hat, ehe die Erde einmal ihre Bahn um die Sonne zurücklege, d. h. den Weg von einer Tag- und Nachtgleiche bis zu derſelben des nächſten Jahres vollende. Da das Jahr jedoch etwas länger als 365 Tage iſt, ſo ergiebt ſich

---

*) Beſſel in Schumacher's Aſtron. Nachr. Nr. 135. Andere Angaben ſind folgende:

Lalande	= 365 Tage	5h 48′ 48″	
v. Zach	= 365	5h 48′ 50,875″	
Piazzi	= 365	5h 48′ 50,27″	
Delambre u. Carlini	= 365	5h 48′ 51,3936″	
Littrow	= 365	5h 48′ 50,832″.	

**) Vergl. Art. Erde. Bd. II. S. 906.

Digitized by Google

hieraus, daß die Bahn um die Sonne von der Erde mit dem 365. scheinbaren Umlaufe der Sonne um die Erde noch nicht zurückgelegt iſt. Nimmt man daher das Jahr nur zu 365 Tagen an, ſo beträgt die Zeit von 5 Stunden 48 Minuten und 47,81 Secunden, dieſe gleich 6 Stunden geſetzt, in 4 Jahren ſchon einen ganzen Tag. Wenn man alſo, ohne hierauf Rückſicht zu nehmen, das Jahr immer nur zu 365 Tagen rechnet, ſo würden die Jahreszeiten, die längſten und kürzeſten Tage ꝛc. allmälig den ganzen Kalender durchlaufen; es würde z. B. der längſte Tag, welcher im gegenwärtigen Jahre auf den 21. Juni fiel, nach 4 Jahren auf den 22., nach 100 Jahren auf den 16. Juli und nach 400 Jahren ſogar auf den 30. September fallen. Um daher den Fehler, welcher bei der Annahme des bürgerlichen Jahres zu 365 Tagen ſtattfindet, zu verbeſſern, muß jedes 4. Jahr um einen Tag länger, alſo zu 366 Tagen angenommen werden. Man ſagt, es werde in die gewöhnlichen 365 Tage 1 Tag eingeſchaltet, und zwar geſchieht dieſe Einſchaltung nach dem 23. Februar, ſo daß in einem Schaltjahre der Tag Matthias, welcher in einem gemeinen Jahre der 24. Februar iſt, der 25. wird, und der ganze Monat Februar nicht 28, ſondern 29 Tage hat. Diejenigen Perſonen, welche in einem Schaltjahre an einem der 5 letzten Tage des Februar geboren ſind, haben alſo ihren Geburtstag in den gemeinen Jahren um einen Tag früher zu feiern, und der am 24. Februar eines Schaltjahres Geborne hat den Schalttag zum Geburtstage, nicht der, welcher am 29. Erdenbürger geworden iſt.

Dieſe Einſchaltung nach dem 23. Februar hat ihren Grund darin, daß vor der Kalenderverbeſſerung durch Julius Cäſar bei den Römern Schaltjahre im Gebrauche waren, in denen der Februar zu 23 Tagen gerechnet wurde, worauf dann ein ganzer Schaltmonat folgte. Dieſer Gebrauch, nach dem 23. Februar einzuſchalten, erſchien bei Einführung der Neuerung zweckmäßig, um dieſer ſelbſt leichter Eingang zu verſchaffen.

Ob ein Jahr ein Schaltjahr ſei, findet man, wenn man die Jahreszahl ſelbſt durch 4 dividirt; geht die 4 ohne Reſt in derſelben auf, ſo iſt das Jahr ein Schaltjahr, wo nicht, ein gemeines Jahr.

Durch die vor Julius Cäſar beſtehende mangelhafte Zeitrechnung war um das Jahr 50 v. Chr. eine ſolche Verwirrung eingeriſſen, daß der Frühlingsanfang, welcher in den März fallen ſollte, erſt in dem Mai eintrat. Mit Hülfe des Alexandriniſchen Aſtronomen Soſigenes ließ daher Julius Cäſar im Jahre 708 nach Erbauung der Stadt Rom (46 v. Chr.) die fehlenden 72 Tage, um den Anfang des Januar auf das Winterſolſtitium (den kürzeſten Tag) zu bringen, einſchalten, verlegte aber den Jahresanfang noch um weitere 8 Tage hinaus, weil damals gerade auf den 8. Tag nach dem kürzeſten Tage ein Neumond eintrat, worauf die Römer ein großes Gewicht legten. Mit dem Januar 709 (45 v. Chr.) begann die neue Zeitrechnung, und das vorhergehende Jahr hatte auf dieſe Weiſe $365 + 72 + 8 = 445$ Tage erhalten, weshalb es das Jahr der Verwirrung (annus confusionis) genannt worden iſt.

Seit Beginn der Julianiſchen Zeitrechnung wurde alle 4 Jahre ein Tag nach dem 23. Februar eingeſchaltet, wie bereits bemerkt worden iſt. Die Monate hatten diejenige Anzahl von Tagen, welche ſie noch jetzt haben, und hießen: Januarius, Februarius, Martius, Aprilis, Majus, Junius, Quinctilis, Sextilis, September, October, November, December. Zum Andenken an Julius Cäſar

wurde unter Cäſar Auguſtus der Quinctilis Julius genannt, und zum Andenken an Cäſar Auguſtus der Sextilis Augustus, weil in dieſem Monate Auguſtus zum erſten Male Conſul geworden war, und glänzende Siege erfochten hatte.

Bei der Julianiſchen Zeitrechnung iſt in Bezug auf die Einſchaltung vorausgeſetzt, daß das tropiſche Sonnenjahr eine Länge von 365 Tagen 6 Stunden habe. Da dies Julianiſche Jahr aber um ungefähr 11 Minuten 12 Secunden die wahre Dauer dieſes Jahres übertrifft, ſo folgt hieraus, daß bei fortwährender Einſchaltung eines Tages in je 4 Jahren 100 Julianiſche Jahre um 19 Stunden und 400 Julianiſche Jahre um mehr als 3 Tage zu lang werden. In 129 Jahren war die Differenz faſt auf einen Tag angewachſen.

Zur Zeit des Papſtes Gregor XIII. betrug auf dieſe Weiſe, da man ohne Unterbrechung aller 4 Jahre einen Tag eingeſchaltet hatte, die Abweichung der Julianiſchen Zeitrechnung von der wahren Zeit 13 Tage, indem die Frühlings-Tag- und Nachtgleiche nicht mehr auf den 24. März, ſondern auf den 11. März fiel. Im J. 1577 unterrichtete nun Papſt Gregor XIII. alle chriſtlichen Monarchen, daß er die Jahresrechnung berichtigen wolle, und nach Berathung mit ausgezeichneten Aſtronomen, namentlich mit Aloyſius Lilius, verordnete er, daß durch die ganze chriſtliche Kirche im J. 1582 der October ſtatt 31 nur 21 Tage haben ſollte. Man ging nämlich vom 4. October ſogleich auf den 15. über, und brachte dadurch die Frühlingsnachtgleiche im Jahre 1583 auf den 21. März, wo ſie zur Zeit des Conciliums von Nicäa ſich befunden hatte. Gregor verordnete zugleich, daß von nun an, bei fortwährender vierjähriger Einſchaltung von einem Tage, in je 400 Jahren 3 Schalttage weggelaſſen werden ſollten, und zwar ſo, daß die nächſten 3 Säcularjahre, nämlich 1700, 1800 und 1900, nicht Schaltjahre, ſondern gemeine Jahre ſein ſollten, wohl aber das Jahr 2000 und ſo fort. Kann man die Anzahl der Jahrhunderte durch 4 ohne Reſt theilen, ſo iſt das Säcularjahr ein Schaltjahr, wo nicht, ein gemeines.

Dieſer neue Gregorianiſche Kalender iſt von den meiſten chriſtlichen Völkern nach und nach angenommen worden. Nur die griechiſche Kirche, alſo namentlich die Ruſſen, haben den alten Julianiſchen Kalender beibehalten. Man unterſcheidet daher Zeitangaben nach neuem Stile (nach dem Gregorianiſchen Kalender) und Zeitangaben nach altem Stile (nach dem Julianiſchen Kalender). Der erſte Januar 1583 alten Stils fiel bereits auf den 11. Januar 1583 neuen Stils. Da das Jahr 1700 nach dem alten Stile ein Schaltjahr war, aber nicht nach dem neuen, ſo fiel der erſte Januar 1701 alten Stils auf den 12. Januar neuen Stils; der Unterſchied betrug mithin von dem 24. Februar 1700 an 11 Tage; eben ſo iſt die Abweichung des alten von dem neuen Stile ſeit dem 24. Februar 1800 auf 12 Tage angewachſen und wird im J. 1900 auf 13 Tage ſteigen, dann aber erſt im J. 2100 wiederum um 1 Tag zunehmen. Die Proteſtanten haben den neuen Stil in Deutſchland, Holland, Dänemark im J. 1700 angenommen unter dem Namen des verbeſſerten Kalenders, indem ſie vom 18. Februar ſogleich auf den erſten März übergingen. Die Engländer nahmen dieſen Kalender im J. 1752 an, indem ſie vom 20. Auguſt ſogleich zum 1. September fortzählten, und die Schweden im J. 1753, indem ſie nach dem 17. Februar ſogleich den 1. März ſtellten.

Die Einſchaltung, welche Gregor angeordnet hat, würde mathematiſch genau ſein, wenn das tropiſche Sonnenjahr 365 Tage 5 Stunden 49 Minuten

12 Secunden enthielte, alſo um 24 Secunden länger wäre, als es wirklich iſt, oder wenn durch die Julianiſche Einſchaltungsweiſe 100 Jahre nicht um 19, ſondern nur um 18 Stunden zu lang würden. Da mithin zu viel eingeſchaltet wird, ſo würde etwa alle 36 Jahrhunderte abermals ein Schalttag wegzulaſſen ſein, was man näherungsweiſe dadurch erreichen könnte, wenn man alle 4000 Jahre noch einen Schalttag ausfallen ließe und zwar, um eine Uebereinſtimmung mit den übrigen Regeln herbeizuführen, immer in dem Jahre, in welchem die Tauſende durch 4 ohne Reſt theilbar wären.

Gewöhnlich rechnet man auf das Jahr 52 Wochen; da aber 52 Wochen nur 364 Tage ſind, ſo hat ein gemeines Jahr 1 Tag und ein Schaltjahr 2 Tage mehr, als 52 Wochen. Daher kommt es, daß ein beſtimmter Monatstag, z. B. der erſte Januar des gegenwärtigen Jahres, wenn daſſelbe ein gemeines Jahr iſt, im folgenden Jahre auf den nächſt folgenden Wochentag fällt, und wenn es ein Schaltjahr iſt, auf den zweitfolgenden. (Vergl. Art. Cyclus.)

Noch iſt der Mondenjahre Erwähnung zu thun. Der Wechſel der Mondsphaſen mußte ſchon in den früheſten Zeiten auffallen, und es lag nahe die Zeit zunächſt nach Neumonden oder nach dem erſten Erſcheinen des Mondes nach Neumond zu zählen. Dieſe Art der Zeitbeſtimmung liegt im Weſentlichen noch bei den Unterabtheilungen des gebräuchlichen tropiſchen Sonnenjahres zu Grunde, wenn auch unſere Monate ungleiche Länge haben und noch weit weniger mit dem Mondumlaufe übereinſtimmen. Man konnte indeſſen bei der Zeitbeſtimmung nach Neumonden nicht ſtehen bleiben, weil der Mondumlauf kein aliquoter Theil des tropiſchen Sonnenjahres iſt, und wenn man auch bald die Bemerkung gemacht haben mochte, daß nach 12 Mondumläufen (ſynodiſchen Monaten, ſ. d. Art. Monat) die Sonne ziemlich zu denſelben Sternen und zu denſelben Stellungen gegen den Aequator zurückgekehrt ſei, man doch bald eine merkliche Abweichung gegen das Sonnenjahr entdecken mußte. Dadurch wurde man nothwendig auf das für die bürgerlichen Verhältniſſe wichtigere Sonnenjahr hingeführt. Indeſſen blieb man doch zunächſt bei der Zeitmeſſung nach Mondumläufen ſtehen und ſuchte nur eine Uebereinſtimmung mit dem Sonnenjahre durch Einſchaltungen zu Stande zu bringen.

Die Zeit von 12 Mondumläufen nannte man ein Mondenjahr, deſſen mittlere Dauer nach genauerer Berechnung 354 Tage 8 Stunden 48 Minuten 36 Secunden iſt. Das Mondenjahr weicht folglich ungefähr um 11 Tage von dem Sonnenjahre ab, und daher waren die nothwendigen Einſchaltungen ſehr bedeutend, wenn man es vermeiden wollte, daß die Jahreszeiten alle 12 Monate des Mondenjahres durchliefen. Bei den meiſten Völkern, die nach Mondenjahren gerechnet haben, ſind dieſelben durch Einſchaltungen von ganzen Monaten oder von Tagen mit den Sonnenjahren in Uebereinſtimmung gebracht worden. So hatten die Römer, welche vor Cäſar eigentlich nach Mondenjahren rechneten, alle 2 Jahre einen Schaltmonat von 22 oder 23 Tagen, welcher mensis intercalaris hieß, und, wie bereits oben bemerkt wurde, nach dem 23. Februar ſeine Stelle fand. Auch die Griechen ſuchten Mondenjahre und Sonnenjahre in Uebereinſtimmung zu bringen, indem ſie die Reihe von Sonnenjahren aufzufinden ſuchten, welche eine Reihe ganz vollendeter Mondmonate enthielt. So fanden Meton und Euktemon, daß 19 Sonnenjahre, welche 6940 Tage betragen, ſehr genau mit der Zeit von

235 ſynodiſchen Mondumläufen zuſammenſtimmen *). Hiernach mußte es in 19 Jahren 7 Schaltmonate geben. Auch die Juden rechneten nach Mondenjahren und hatten eine ſehr künſtliche und verwickelte Einſchaltungsmethode. Nur die Türken haben ein reines Mondenjahr mit abwechſelnd 29 und 30 Tage langen Monaten. Der Neujahrstag der Türken muß mithin alle Jahreszeiten rückwärts durchlaufen.

Ausführliche Schriften über die Zeitrechnung ſind:

Ideler, Lehrbuch der Chronologie. Berlin 1831, ein Auszug aus:

Ideler, mathematiſche und techniſche Chronologie. Berlin 1825 und 1826.

Littrow, Kalendariographie. Wien 1828.

In Betreff der übrigen Planeten unſeres Sonnenſyſtems ſei nur noch bemerkt, daß die Jahre eines jeden der ſideriſchen oder tropiſchen Umlaufszeit deſſelben um die Sonne gleich ſind. H. E.

Jahreszeiten (Quatuor tempora anni; les saisons; the seasons) heißen diejenigen Abwechſelungen im Laufe des Jahres, welche ſich durch verſchiedene Länge des Tages, verſchiedene Temperatur und alle die hiermit zuſammenhängenden Naturerſcheinungen als Eis, Schnee, Regen, Wind, Grünen, Blühen, Fruchttragen und Entlaubung der Gewächſe unterſcheiden. Die Namen dieſer Jahreszeiten ſind bekanntlich: Frühling, Sommer, Herbſt und Winter.

Ueber die Entſtehung der ungleichen Tageslängen und der hiermit zuſammenhängenden Erſcheinungen von Winter, Frühling, Sommer und Herbſt, ſ. d. Art. Erde, Bd. II. S. 904 u. 905. Nach den aſtronomiſchen Beſtimmungen beginnt der Frühling, ſobald ſich die Sonne über den Aequator des Himmels erhebt. Auf der ganzen nördlichen Halbkugel iſt folglich Frühlingsanfang in der Zeit des 20. bis 21. März nach dem Gregorianiſchen Kalender (vergl. Art. Jahr), weil ſich zu dieſer Zeit die Sonne in dem Durchſchnittspunkte der Ekliptik und des Aequators, im Nullpunkte des Widders, oder im Punkte der Frühlingsnachtgleiche (ſ. Art. Nachtgleichen) befindet, und nach dieſer Zeit nordwärts von dem Aequator entfernt. Dieſelbe Zeit iſt für die ſüdliche Halbkugel der Anfang des Herbſtes, weil für dieſe Erdhälfte dann die Sonne unter dem Aequator ihre Stellung einnimmt. Der Sommer beginnt mit dem längſten Tage, an welchem die Sonne ihre höchſte Stellung erlangt, d. h. auf der nördlichen Halbkugel in der Zeit des 21. bis 22. Juni, wenn die Sonne in das Zeichen des Krebſes tritt. Nach dieſer Zeit nähert ſich die Sonne wieder immer mehr dem Aequator, und ſo dauert der Sommer, bis die Sonne abermals in dem Durchſchnittspunkte der Ekliptik und des Aequators ſteht, alſo bis zu dem 22. bis 23. September, wo die Sonne in das Zeichen der Wage tritt. Auf der ſüdlichen Halbkugel iſt während dieſer Zeit Winter. Das Ende des Sommers iſt der Anfang des Herbſtes. In dieſer Jahreszeit entfernt ſich die Sonne immer mehr von dem Aequator, ſo daß ſie eine immer tiefere Stellung bekommt. Der Herbſt endet mit Wintersanfang, mit dem niedrigſten Stande der Sonne (für die nördliche Halbkugel in dem Zeichen des Steinbocks) oder mit dem kürzeſten Tage. Für die nördliche Halbkugel tritt dies ein in der Zeit des 21. bis 22. December. Für die ſüdliche Halbkugel iſt dieſe Zeit des nördlichen Herbſtes der Frühling, und

*) S. Art. Cyclus. Bd. I. S. 1016.

eben ſo die Zeit des nördlichen Winters die des Sommers, worauf mit dem Eintreten der Sonne in das Zeichen des Widders der Cyclus der Jahreszeiten von Neuem beginnt. Es ergiebt ſich mithin folgende Zuſammenſtellung:

Nördliche Halbkugel.		Südliche Halbkugel.
Frühling	20. bis 21. März —	21. bis 22. Juni Herbſt.
Sommer	21. bis 22. Juni —	22. bis 23. September Winter.
Herbſt	22. bis 23. Septbr. —	21. bis 22. December Frühling.
Winter	21. bis 22. Decbr. —	20. bis 21. März Sommer.

Daß der Anfang und das Ende der einzelnen Jahreszeiten nicht unveränderlich auf denſelben Tag oder Augenblick fällt, hat, wie aus dem Art. Jahr zu erſehen iſt, ſeinen Grund in der Länge des tropiſchen Jahres und den hierdurch nothwendigen Einſchaltungen. Auch machen wir noch darauf aufmerkſam, daß der Frühling und Sommer der nördlichen Halbkugel zuſammen um ungefähr 7 Tage länger ſind als der Herbſt und Winter, und daß auf der ſüdlichen Halbkugel das Umgekehrte ſtattfindet.

Für die Gegenden zwiſchen den Wendekreiſen, namentlich in der Nähe des Aequators, findet, wie dies in der Natur der Sache liegt, indem die Sonne während des ganzen Jahres eine ſehr hohe Stellung einnimmt, und kein bedeutender Unterſchied in der Länge des Tages und der Nacht eintritt, ein ſich äußerlich wie bei uns kundgebender Wechſel der Jahreszeiten nicht ſtatt. Die Unterſchiede der Jahreszeiten ſchwinden überhaupt auch in den gemäßigten Zonen gegen den Aequator zu immer mehr, und nach den Polen zu nehmen die ſonſt den Winter begleitenden Erſcheinungen faſt das ganze Jahr ein. Es wechſelt Sommer und Winter, aber der letztere dauert weit länger als jener, und die Uebergänge Herbſt und Frühling verſchwinden faſt ganz. So ſind die meteorologiſchen Jahreszeiten, welche namentlich mit der Temperatur zuſammenhängen, auf den verſchiedenen Punkten der Erde höchſt verſchieden.

In den gemäßigten Zonen iſt Frühling die Zeit des Verſchwindens des Schnees und Eiſes, des Grünwerdens der Bäume und Sträucher ꝛc., im Sommer zur Zeit der größten Wärme reifen die Früchte der Getreidearten und der Bäume, und im Herbſte, der Zeit der Weinleſe, fallen die fahlwerdenden Blätter von den Bäumen, bis im Winter endlich Schnee und Eis die ganze Natur mehr oder weniger überzieht. Ganz anders verhält es ſich aber in den Gegenden um den Aequator. Hier wechſelt die Temperatur im Laufe des Jahres nur wenig, die Bäume verlieren nie völlig ihr Laub, ſondern das friſche tritt ſchon hervor, ehe das alte abgefallen iſt, und Blüthen und Früchte werden gleichzeitig von demſelben Baume getragen und ſie erſcheinen in allen Jahreszeiten. Dort giebt es nur zwei meteorologiſche Jahreszeiten, die trockne und die Regenzeit, welche letztere gewöhnlich dann eintritt, wenn ſich die Sonne im Zenith des Ortes befindet, weil durch den aufſteigenden Luftſtrom, welcher an dem Orte am ſtärkſten iſt, in deſſen Zenith die Sonne ſteht, eine große Störung im Gleichgewichte der Atmoſphäre eintritt. Mit dem Fortrücken der Sonne findet auch eine Verrückung der Regenzeit ſtatt, und an den Orten, durch deren Zenith die Sonne jährlich zweimal geht, treten daher auch zwei naſſe Jahreszeiten ein, getrennt durch eine trockene Jahreszeit oder wenigſtens charakteriſirt durch zwei Maxima in der Menge des fallenden Regens. (Vergl. Art. Regen und Winde.) Daß örtliche Verhältniſſe außerdem auf dieſe Erſcheinung

von Einfluß sein und Modificationen herbeiführen können, glauben wir nicht unbemerkt lassen zu dürfen. Am ausführlichsten hat A. v. Humboldt dies Phänomen untersucht. Er erzählt *), daß in den tropischen Gegenden (am Orenoco) nördlich vom Aequator vom December bis Februar der Himmel vollkommen heiter ist und ein fortwährender Ost- oder Ostnordostwind weht. Gegen Anfang des März treten häufig Windstillen ein, die Luft wird feucht, die Sterne beginnen zu funkeln, und im April beginnt die von heftigen Stürmen begleitete Regenzeit, nachdem sich bereits im März am südlichen Himmel elektrische Entladungen gezeigt haben.

Wir können hier auf die Modificationen der einzelnen Jahreszeiten in den verschiedenen Zonen nicht weiter eingehen; die Art. Regen, Winde, Isothermen ꝛc. enthalten vieles darauf Bezügliche, und da der Art. Klima eine Charakteristik der einzelnen Zonen enthält, so bekommt der vorliegende Artikel hierdurch seine Ergänzung. Wir bemerken hier nur noch, daß die Meteorologen sich einer anderen Eintheilung der Jahreszeiten bedienen, als der im bürgerlichen Leben gebräuchlichen.

Die Mittel der meteorologischen Beobachtungen werden meistens nach ganzen Monaten gegeben, die astronomischen Jahreszeiten beginnen aber in der Mitte der Monate. Schon diese Nichtübereinstimmung bedingt eine Abweichung. Naturgemäß ist es jedenfalls bei einer meteorologischen Charakteristik der Jahreszeiten eine Jahreseintheilung zu treffen, durch welche die charakterisirenden Phänomene auch vorzugsweise Beachtung finden. Es sind verschiedene Vorschläge gemacht **), jetzt ist aber allgemein angenommen, die Monate: December, Januar und Februar als Winter; März, April und Mai als Frühling; Juni, Juli und August als Sommer und September, October und November als Herbst in Rechnung zu nehmen. Diese Eintheilung hat den Vorzug, daß der Tag der größten (Sommer), mittleren (Frühling und Herbst) und geringsten (Winter) Wärme sehr nahe in die Mitte einer jeden Jahreszeit fällt. H. C.

Induction, elektrische, nennt man eine besondere Art von Erregung elektrischer Ströme in einem geschlossenen Leiter, in dessen Nähe sich ein anderer von Elektricität durchströmter Leiter befindet. Doch kann eine solche Erregung auch in dem Schließungsbogen einer elektrischen Kette vorkommen, und in ganz ähnlicher Weise wirkt ein Magnet auf einen benachbarten geschlossenen Elektricitätsleiter.

Auf einer Rolle oder Spule von Holz seien zwei mit Seide übersponnene Kupferdrähte A und B in vielen Windungen neben einander aufgewickelt. Werden nun die Enden des einen Drahtes A mit den Polen einer galvanischen Kette, die des anderen B aber mit den Drahtenden eines Multiplicators (Galvanometers) gut verbunden, so zeigt die Ablenkung der Magnetnadel im Drahte B einen Strom an, dessen Richtung der des galvanischen Stromes entgegengesetzt ist. Dieser Strom ist jedoch nicht dauernd, denn bald kehrt die Nadel in ihre Ruhelage zurück. Oeffnet man aber die galvanische Kette, wodurch der anfängliche Strom in A unter-

*) Voyage. T. VI. p. 176. Ann. de Ch. et de Phys. T. VIII. p. 180.

**) Vergl Kämtz, Meteorologie. Bd. I. S. 129; Lampadius, Atmosphärologie S. 225; Wucherer, die Sommertemperatur zu Karlsruhe. S. 52.

brochen wird, ſo entſteht in dem Nebendrahte B ein zweiter Strom, welcher die entgegengeſetzte Richtung des vorigen oder gleiche Richtung mit dem verſchwindenden Hauptſtrome in A hat. Nach wenigen Momenten verliert ſich auch dieſer Strom und die Nadel geht auf den Nullpunkt zurück.

Eine Vermehrung und Verminderung der Stromſtärke hat bei fortdauerndem Geſchloſſenſein der Kette auf den Nebendraht B im Weſentlichen dieſelbe Wirkung wie das Schließen und Oeffnen der Kette. Befindet ſich nämlich in der galvaniſchen Kette neben dem Drahte A noch ein anderer Draht von beträchtlicher Länge eingeſchaltet, ſo wird die Stromſtärke vermehrt werden, wenn man dieſen Draht, ohne die Kette zu öffnen, hinwegnimmt. Die momentane Ablenkung der Magnetnadel zeigt dann in dem Drahte B einen Strom an, deſſen Richtung der des anfänglichen entgegengeſetzt iſt. Dagegen wird durch die Verminderung der Stromſtärke in dem Drahte B ein elektriſcher Strom erregt, der mit dem galvaniſchen gleiche Richtung hat.

Dieſelben Erſcheinungen treten zu Tage, wenn man einen von Elektricität durchſtrömten Leiter einem anderen geſchloſſenen Leiter nähert oder davon entfernt. Man nehme zwei getrennte Drahtrollen, von denen die eine über die andere geſchoben werden kann, und verbinde die Enden der einen Rolle, wie vorher, mit dem Galvanometer, die Enden der anderen mit den Polen einer galvaniſchen Kette. Sind nun beide Rollen ſo gegen einander geſtellt, daß ihre Axen zuſammenfallen, ſo zeigt die Nadel im Multiplicator, wenn man die eine Rolle der anderen nähert, einen Strom von kurzer Dauer an, der dem galvaniſchen Strome entgegengeſetzt iſt. Werden hierauf beide Rollen von einander entfernt, ſo entſteht in der mit dem Multiplicator verbundenen Rolle ein Strom, der mit dem galvaniſchen in gleicher Richtung fließt.

Man nennt nun ſolche Ströme, welche durch die vertheilende Wirkung eines von der Elektricität durchſtrömten Leiters hervorgebracht werden, *inducirte* oder auch, weil ſie nur kurze Zeit dauern, *temporäre* oder endlich in Beziehung auf den anfänglichen Hauptſtrom, den man den *primären* oder *inducirenden* nennt, *ſecundäre* Ströme. Dieſelben wurden von *Faraday* *) im Jahre 1831 entdeckt und von ihm *inducirte Ströme* genannt. Daß der ſecundäre Strom beim Schließen der Kette die entgegengeſetzte und beim Oeffnen derſelben die gleiche Richtung mit dem primären hat, wurde von *Henry* nachgewieſen. Bei Anwendung einer einfachen Kette iſt der erſtere ſchwächer als der letztere, gewinnt aber eine dieſem gleichkommende Stärke, wenn man die Anzahl der Elemente, aus denen die Kette zuſammengeſetzt iſt, hinlänglich vermehrt.

Bezüglich der Richtung des inducirten Stromes hat *Lenz* **) folgende allgemein geltende Regel aufgeſtellt: „Wenn ſich ein metalliſcher Leiter in der Nähe eines galvaniſchen Stromes bewegt, ſo entſteht in ihm ein elektriſcher Strom, der eine ſolche Richtung hat, daß er in dem ruhenden Drahte eine Bewegung hervorgebracht hätte, die der hier dem Drahte gegebenen gerade entgegengeſetzt wäre.“

Denkt man ſich z. B. den Leiter zu dem galvaniſchen Strome hin bewegt, ſo müßte der in ihn inducirte Strom gerade eine der ſeinigen entgegengeſetzte Rich-

*) *Pogg.* Ann. Bd. XXV. S. 91 — 99.
**) *Pogg.* Ann. Bd. XXXI. S. 483.

tung haben, wenn in Folge der bekannten elektrodynamiſchen Wechſelwirkung (ſ. d. Art. Elektromagnetismus) mit dem inducirenden Drahte eine ſolche Annäherung beider Drähte ſtattfinden ſollte, wie man ſie zum Behufe der Erzeugung des Inductionsſtromes durch eine äußere mechaniſche Kraft hervorgebracht hat. Wenn hiernach in der Nähe eines geſchloſſenen metalliſchen Leiters ein elektriſcher Strom entſteht, ſo hat der in dem erſteren auftretende Inductionsſtrom eine ſolche Richtung, daß zwiſchen ihm und dem inducirenden Leiter eine Abſtoßung erfolgt.

Die inducirten Ströme zeigen im Weſentlichen alle Eigenſchaften eines gewöhnlichen elektriſchen Stromes, wie Licht- und Wärmeerſcheinungen, magnetiſche und phyſiologiſche Effecte. Verſieht man die beiden Endſtücke der Drahtrolle, worin der inducirte Strom hervortritt, mit metalliſchen Handhaben, und faßt man dieſe mit den Händen, ſo erhält man beim Schließen und Oeffnen der Kette einen Schlag. Schon eine einfache Zinkkohlenkette, mit deren Polen man die Enden des vertheilend wirkenden oder inducirenden Drahtes verbindet, erregt in einer benachbarten Drahtſpirale (aus vielen Windungen) einen ſehr kräftigen Schlag. Man erkennt aber leicht, daß die phyſiologiſche Wirkung des Inductionsſtromes außerordentlich verſtärkt werden muß, wenn man durch abwechſelndes Schließen und Oeffnen der Kette eine raſche Aufeinanderfolge von Schlägen hervorbringt. Dieſe Unterbrechung des Hauptſtromes kann durch ein Blitzrad (ſ. d. Art.) oder einfach dadurch geſchehen, daß man mit dem einen Pole der galvaniſchen Kette eine Feile verbindet und an dieſer das eine Ende des Schließungsdrahtes auf- und abführt. Doch hat man auch eigends conſtruirte Apparate, welche das abwechſelnde Schließen und Oeffnen der Kette auf eine raſche und bequeme Weiſe mit Hülfe des inducirenden Stromes ſelbſt bewirken. Von dieſen Apparaten wird weiter unten noch ausführlicher die Rede ſein.

Auch der Schließungsdraht einer Leidner Flaſche oder Batterie erregt in benachbarten Leitern einen Strom, deſſen Geſetze von Marianini *), Henry **), Rieß und Knochenhauer genauer erforſcht worden ſind. Beſonders haben aber die Unterſuchungen von Rieß ***) zur Aufklärung dieſes Gegenſtandes beigetragen. Derſelbe gebrauchte dazu unter anderen Vorrichtungen zwei gleiche, platte Spiralen, deren Windungen in die Vertiefungen zweier Holzſcheiben eingekittet waren. Die Zwiſchenräume waren durch Pech ausgefüllt, welches durch heiße Metallplatten geglättet wurde. Beide Spiralen waren iſolirt, und die eine konnte an einem Glasſtabe verſchoben und der anderen nach Belieben genähert werden. Werden nun die Enden der einen Spirale mit den Belegungen einer Leidner Flaſche oder Batterie in Verbindung gebracht, während man die zweite Spirale durch zwei an ihren Enden angebrachte Handhaben ſchließt, ſo erhält man durch den Neben- oder Inductionsſtrom, welcher in der letzterwähnten Spirale entſteht, einen Schlag. Rieß fand, daß dieſer Nebenſtrom mit dem primären oder Entladungsſtrom der Flaſche ſtets gleiche Richtung hat, wovon er ſich vorzugsweiſe durch die Wirkung

*) Memorie di fisica sperimentale. Modena 1838. Ann. de Chim. et de Phys. 3me Sér. T. X., T. XI. p. 385.

**) Trans. of the Amer. Phil. soc. T. VI. p. 17; Sturgeon, Ann. of Electricity. T. IV. p. 281; Pogg. Ann. Ergänzungsheft. S. 300.

***) Pogg. Ann. Bd. XLVII. S. 55, Bd. XLIX. S. 393, Bd. L. S. 1, Bd. LI. S. 177 u. 351.

jenes Stromes auf einen Harzkuchen und den Condenſator überzeugte. Wenn man zwei Drähte, welche mit den Belegungen einer Leidner Flaſche verbunden ſind, mit den beiden Seiten eines mit einem feinen Pulver (etwa einem Gemenge aus Schwefelblumen und Mennige) beſtreuten Harzkuchens in Berührung bringt, ſo bilden ſich, obſchon die Flaſche nicht eigentlich (vollſtändig) entladen wird, doch verſchiedene Figuren, aus deren Geſtalt ſich auf die Richtung des Stromes ſchließen läßt. Der Nebenſtrom zeigt nun ganz ähnliche Figuren wie der Hauptſtrom, ſo daß er mit dieſem von gleicher Richtung erſcheint.

Die wahrſcheinliche Urſache dieſes Umſtandes ſieht man darin, daß der auftretende Nebenſtrom die Folge von dem Aufhören des primären iſt, indem die Anfangswirkung des letzteren, welche einen Strom in entgegengeſetzter Richtung induciren würde, von dem Ende der Entladung durch einen ſo außerordentlich kurzen Zeitraum getrennt iſt, daß ſie keinen wahrnehmbaren Effect hervorzubringen vermag. Die Stärke des Nebenſtromes beſtimmte Rieß aus der Erwärmung eines in ein Luftthermometer eingeſchloſſenen Platindrahtes. Er fand, daß die Elektricitätsmenge im Nebendrahte derjenigen im Hauptdrahte und der wirkſamen Länge des letzteren direct und der Entfernung beider Drähte umgekehrt proportional iſt. Auch iſt die im Nebendrahte erregte Elektricitätsmenge um ſo größer, je paralleler die beiden Drähte laufen. Der Nebenſtrom cirkulirt in einer der Dauer der Hauptentladung proportionirten Zeit, wirkt aber auf die Entladung im Hauptdrahte zurück, und zwar dergeſtalt, daß er nicht die entladene Elektricitätsmenge, ſondern nur die Dauer der Entladung in dem Verhältniß vermindert, in welchem das Leitungsvermögen des Nebendrahtes ſchwächer als das des Hauptdrahtes iſt. Wird die Schließung des Nebendrahtes progreſſiv verlängert, ſo nimmt die Einwirkung deſſelben auf die Batterieentladung zu, erreicht ein Maximum, und nimmt von dort, wenn man mit der Verlängerung fortfährt, wieder beſtändig ab. Der Grund dieſes Verhaltens liegt nach Rieß *) darin, daß die Flaſchen- oder Batterieentladung (ſ. d. Art. Flaſche) als eine Folge partieller Entladungen anzuſehen iſt, von welchen jede in dem Nebendrahte einen elektriſchen Strom erregt, der bei beſſerer oder ſchlechterer Leitung eine kürzere oder längere Zeit hindurch beſteht. Das Verſchlechtern der Leitung des Nebendrahtes bewirkt ein längeres Beſtehen des Nebenſtromes, ſo daß eine Partialentladung der Batterie eintreten kann, während der von der vorhergehenden Entladung erregte Nebenſtrom noch fortbeſteht. Je weiter der erſte Nebenſtrom in die Dauer der zweiten Batterieentladung eingreift, deſto ſtärker muß ſeine Einwirkung auf dieſelbe ſein. Denkt man ſich aber den Punkt erreicht, wo der erſte Nebenſtrom die ganze Zeit der zweiten Batterieentladung ausfüllt, ſo wird die Dauer deſſelben von geringerem Einfluſſe ſein, als ein anderer dieſem Einfluſſe entgegenwirkender Umſtand. Die Kraft eines elektriſchen Stromes wird bekanntlich vermindert durch Verlängerung der Leitung, die er zu durchlaufen hat, und ein ſo geſchwächter Strom muß auch nothwendig die hier betrachtete Einwirkung weniger kräftig äußern. So lange die Dauer des Nebenſtromes die Dauer der partiellen Batterieentladung nicht erreicht hat, wird die Schwächung des Stromes überwogen durch die längere Zeit, in der er auf den Hauptſtrom einwirkt, erſt wenn das

*) Pogg. Ann. Bd. LI. S. 177 ff.

Maximum der Einwirkung des Nebendrahtes eingetreten iſt, wird mit progreſſiver Verlängerung der Nebenſchließung die immer ſchwächer werdende Einwirkung deſſelben bemerkbar ſein. Wenn nun die zweite Partialentladung gegen die erſte verzögert worden iſt durch Einfluß des erſten Nebenſtromes, ſo wird der zweite Nebenſtrom länger dauern als der erſte, in die dritte Partialentladung weiter eingreifen und dieſelbe noch bedeutender verzögern können. So wird auch weiterhin jede Partialentladung durch Einfluß des Nebenſtromes gegen die vorhergehende verzögert ſein. Das Maximum der Wirkung eines Nebendrahtes auf die elektriſche Entladung, welches durch Verlängerung der Nebenſchließung erreicht wird, iſt übrigens um deſto größer, ein je größerer Theil des Hauptdrahtes auf den Nebendraht einwirkt. Zugleich aber iſt zur Erreichung dieſes Maximums eine um ſo längere Schließung des Nebendrahtes erforderlich.

Rieß fand außerdem noch, daß der vom Schließungsdrahte einer Batterie in einem Nebendrahte erregte Strom unverändert bleibt, wenn zwiſchen beiden Drähten ein Draht mit freien Enden liegt, daß dagegen der Strom vermindert wird, wenn der Zwiſchendraht in ſich geſchloſſen iſt. Befinden ſich alſo zwei geſchloſſene Nebendrähte in der Nähe des Hauptdrahtes, ſo iſt der inducirte Strom in jedem ſchwächer, als wenn nur der eine vorhanden wäre.

Wenn der Schließungsdraht der Batterie in einem Nebendrahte und in einer Metallplatte elektriſche Ströme erregt, die gegenſeitig auf einander wirken, ſo ſteht die Stärke des Stromes im Nebendrahte im umgekehrten Verhältniß zur Dicke der Platte. Iſolirende Zwiſchenplatten verriethen auf die Bildung des Stromes im Nebendrahte keinen bemerkbaren Einfluß.

Wir werden im Verlaufe dieſes Artikels noch einmal auf die durch Reibungselektricität bewirkten Inductionsphänomene zurückkommen.

Wir wiſſen (ſ. d. Art. Elektromagnetismus), daß der elektriſche Strom Magnetismus hervorrufen kann. Umgekehrt hat nun auch der Magnet die Eigenſchaft, in einem geſchloſſenen Leiter das elektriſche Gleichgewicht aufzuheben und dadurch einen Strom zu erzeugen, was Faraday *) zuerſt durch entſcheidende Verſuche gezeigt hat. Die Sache ſelbſt ließ ſich vermuthen, da man wußte, daß ein gewöhnlicher Magnet ſich gewiſſermaßen wie eine cylindriſche Drahtſpirale verhält, deren Windungen von einem continuirlichen elektriſchen Strome durchfloſſen werden.

Man denke ſich nun um eine Spule von Holz oder Pappe, welche etwa 2 bis 3 Zoll weit iſt, einen mit Seide überſponnenen Kupferdraht nach einerlei Richtung gewunden, ſo daß ungefähr 800 bis 1000 Windungen neben und über einander zu liegen kommen, und die beiden mehrere Fuß weit fortgeführten Drahtenden mit den Enden eines Multiplicators verbunden. Wenn man dann in die Höhlung des Cylinders den Pol eines kräftigen Magneten (etwa bis zur Mitte) ſchnell hineinſchiebt, ſo zeigt die Multiplicatornadel in der Drahtrolle einen Strom an, der aber bald wieder verſchwindet, wenn man den Magnetſtab ruhig in der

*) Pogg. Ann. Bd. XXV. S. 99 ff.

Höhlung liegen läßt. Nimmt man aber den Stab wieder aus der Drahtrolle heraus, ſo weicht die Nadel nach der entgegengeſetzten Seite aus und verräth mithin einen Strom, deſſen Richtung der des vorigen entgegengeſetzt iſt. Man kann natürlich auch umgekehrt ſo verfahren, daß man eine hohle Drahtrolle über den einen Pol eines Magnetſtabes bis zur Mitte deſſelben ſchiebt, und dieſelbe darauf in die anfängliche Lage zurück, oder ſtatt deſſen über den anderen Pol hinausführt. Auch dann erhält man in derſelben Weiſe wie vorher zwei Inductionsſtröme von entgegengeſetzter Richtung.

Man nennt dieſe durch Magnetismus inducirten Ströme magnetelektriſche Ströme. Dieſelben haben alle Eigenſchaften der oben betrachteten Inductionsſtröme und beruhen mit dieſen bezüglich ihres Urſprunges höchſt wahrſcheinlich auf demſelben Princip.

Die Richtung der magnetelektriſchen Ströme beſtimmt ſich nach folgender von Lenz *) aufgeſtellten Regel: „Wenn ein Leiter in der Nähe eines Magneten oder umgekehrt ein Magnet in der Nähe eines Leiters in Bewegung geräth, ſo wird in dieſem ein elektriſcher Strom inducirt, deſſen Richtung gerade die entgegengeſetzte ſein müßte, wenn vermöge der Wechſelwirkung des Leiters mit dem Magneten die Bewegung entſtehen ſollte, welche zum Behufe der Erzeugung des magnetelektriſchen Stromes durch eine äußere mechaniſche Kraft wirklich hervorgebracht worden iſt.“

Aus der Induction elektriſcher Ströme durch den Magnetismus folgt, daß auch die Nadel eines Multiplicators, wenn ſie aus ihrer Ruhelage heraus oder in dieſelbe zurücktritt, in dem umgebenden Drahte elektriſche Ströme erzeugt, die auf ſie ſelbſt zurückwirken müſſen. Es ſeien zwei Magnetnadeln, von denen jede mit einem Drahtgewinde umgeben iſt, in einer hinreichenden Entfernung von einander aufgeſtellt, ſo daß keine auf die andere unmittelbar einwirken kann. Wird nun die eine dieſer Nadeln bewegt, ſo geräth auch die andere in Bewegung, falls die Enden beider Drahtgewinde leitend mit einander verbunden ſind. Durch die Bewegung der erſten Nadel entſteht nämlich in dem umgebenden Drahtgewinde ein Strom, in Folge deſſen auch die andere Nadel eine Ablenkung erfährt. Denkt man ſich ein Drahtgewinde mit einer ganzen Reihe von Multiplicatoren in leitender Verbindung, ſo gerathen in den letzteren alle Nadeln augenblicklich in Bewegung, wenn man in das Drahtgewinde den Pol eines ſtarken Magnetſtabes ſchiebt. Sind die Drahtenden eines Multiplicatorgewindes mit einander verbunden, ſo nehmen die Schwingungen der Magnetnadel viel raſcher an Größe ab, als wenn das Gewinde offen iſt, weil im erſten Falle durch jede Bewegung der Nadel in den Windungen des Drahtes ein Strom erregt wird, der ſie nach einer ihrer Bewegung entgegengeſetzten Richtung abzulenken ſtrebt. Steht das Drahtgewinde parallel mit der Ebene des magnetiſchen Meridians und wird der Nordpol der Magnetnadel z. B. nach Weſt gedreht, ſo entſteht in den Windungen des Drahtes ein Strom, der dieſen Pol nach Oſt zu bewegen ſucht. Und wenn ſich der letztere in dieſem Sinne bewegt, ſo wird ein Strom inducirt, der ſie weſtlich abzulenken ſtrebt. Da dieſe Inductionsſtröme ſofort verſchwinden, wenn die Nadel in irgend einer Lage zur Ruhe gekommen iſt, ſo können ſie auf die durch einen ſonſtigen elektriſchen Strom veränderte Gleichgewichtslage der Nadel keinen weiteren Einfluß üben, wohl

*) Pogg. Ann. Bd. XXXI. S. 483 ff.

aber können ſie benutzt werden, um die übermäßigen Bewegungen der Multiplicatornadel zu mäßigen oder zu dämpfen, indem man die letztere, parallel mit den Windungen des Multiplicators, mit einem einfachen, etwas dicken geſchloſſenen Metallringe umgiebt.

Eine Magnetnadel, die über einer nahe darunter befindlichen Kupferſcheibe oscillirt, kommt ebenfalls viel ſchneller als ſonſt zur Ruhe. Es werden nämlich auch hier durch die oscillirende Nadel in der Scheibe Ströme inducirt, welche auf die Nadel hemmend zurückwirken, wenn die Scheibe ihren Bewegungen nicht nachfolgen kann. Gauß machte hiervon eine Anwendung, um die Schwingungen des Magnetſtabes im Magnetometer (ſ. d. Art.) zu dämpfen. Uebrigens muß man, um hinſichtlich der von der Induction herrührenden Abnahme der Schwingungsweiten ein reines Reſultat zu erhalten, die durch den Luftwiderſtand bewirkte Verminderung des Schwingungsbogens davon abziehen.

Wenn man eine Kupferſcheibe unterhalb einer frei beweglichen Magnetnadel in Rotation um eine verticale Axe verſetzt, ſo erleidet die Nadel im Sinne dieſer Bewegung eine Ablenkung und geräth endlich ſelbſt in eine rotirende Bewegung. Um Luftſtrömungen abzuhalten, kann man die Nadel innerhalb einer Glasglocke, welche unten durch ein Papierblatt geſchloſſen iſt, an einem Seidenfaden aufhängen. Beim Beginn der Rotation wird die Nadel um einen Winkel abgelenkt, deſſen Größe durch die Geſchwindigkeit der Umdrehung und durch den Erdmagnetismus, welcher die Nadel in den magnetiſchen Meridian zurückzuführen ſtrebt, beſtimmt iſt. In dieſer Lage verharrt die Nadel, falls die Umdrehung mit conſtanter Geſchwindigkeit fortgeſetzt wird. Dreht man aber ſchneller, ſo nimmt auch die Ablenkung zu, bis endlich die Nadel ſelbſt zu rotiren anfängt, ſobald die Geſchwindigkeit eine gewiſſe Grenze überſchritten hat. Dieſe Erſcheinungen wurden zuerſt von Arago im Jahre 1824 wahrgenommen. Derſelbe ließ die Kupferſcheibe bei einem hierzu conſtruirten Apparate durch ein Uhrwerk in Bewegung ſetzen. Umgekehrt wird auch eine beweglich aufgehängte Kupferſcheibe durch einen unter ihr rotirenden Magnetſtab in eine drehende Bewegung verſetzt.

Die Intenſität der Wirkung iſt um ſo größer, je näher der Magnet und die Kupferſcheibe einander ſind, je größer die Maſſe der letzteren und je ſtärker der Magnetismus der Nadel iſt. Jedoch iſt ein gewiſſes Größenverhältniß zwiſchen dem Magneten und der Scheibe nothwendig. Iſt die Maſſe der Scheibe unterbrochen, hat ſie z. B. in der Richtung ihrer Radien Einſchnitte, ſo geht ein bedeutender Theil ihres Einfluſſes auf die Nadel verloren, tritt aber wieder hervor, wenn man die Zwiſchenräume ausfüllt, was ſelbſt durch ein anderes Metall geſchehen kann. Dagegen ſtellt ſich die volle Wirkung nicht wieder ein, wenn man die Einſchnitte durch kein zuſammenhängendes Metall, ſondern durch ſtark zuſammengepreßtes Metallpulver oder durch eine Flüſſigkeit ausfüllt. Werden zwiſchen den Magneten und die Kupferſcheibe andere Körper gebracht, ſo ſchwächen ſie die Wirkung, wenn ſie ſelbſt eine ganz ähnliche beim Rotiren hervorzubringen vermögen *).

Die Ablenkung und Rotation der Nadel rührt von einer Kraft her, welche nach der Tangente der Scheibe wirkt. Außer dieſer giebt es aber noch zwei andere Kräfte, welche gleichfalls von der Scheibe ausgehen und von der die eine ſenkrecht

*) Herſchel und Babbage in Philosoph. Transact. f. 1825. p. 481.

auf ihrer Ebene, die andere aber damit parallel ist. Die erstere von diesen beiden Kräften wirkt abstoßend auf jeden Pol eines Magneten, was man sogleich erkennt, wenn man an einen Wagebalken einen Magnetstab vertical befestigt und unter ihm eine Scheibe rotiren läßt. Die zweite Kraft wirkt in der Richtung des Halbmessers der Scheibe, und zwar in der Nähe des äußeren Umfanges abstoßend, aber immer weniger, je mehr man sich dem Mittelpunkte der Scheibe nähert. Bringt man nämlich eine Inclinationsnadel so über die Scheibe, daß sie eine verticale Richtung annimmt, so wird sie bei der Rotation der Scheibe in der Nähe des Randes vom Centrum gegen die Peripherie hin abgestoßen; nähert man sie aber allmälig dem Centrum der Scheibe, so wird die Abstoßung immer geringer, so daß sie an einer bestimmten Stelle zwischen Centrum und Peripherie gleich 0 wird, indem die Nadel hier eine vollkommen verticale Stellung annimmt. Noch weiter gegen das Centrum hin erleidet sie eine Anziehung, vermöge deren sie sich nach dem Centrum hin bewegt. Im letzteren selbst ist diese Kraft wieder gleich Null.

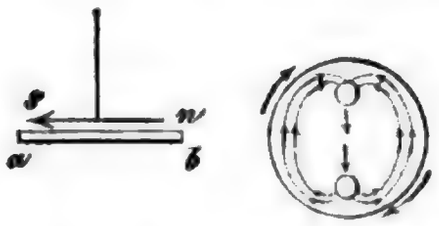
Die beschriebenen Erscheinungen sind nun eine Folge der inducirenden Wirkung des Magneten, indem nämlich der letztere in der rotirenden Scheibe Ströme inducirt, kraft deren sie auf ihn selbst zurückwirkt. Durch Faraday*) ist die Existenz dieser Ströme wirklich nachgewiesen worden. Man bringt eine Kupferscheibe, welche um eine horizontale Axe drehbar ist, so zwischen die Pole eines Hufeisenmagneten, daß ihr oberer Rand entweder in die Ebene der beiden Pole oder noch etwas darunter fällt. Das eine Drahtende eines Multiplicators bringt man nun mit dem amalgamirten Rande, das andere aber mit der Axe der Scheibe in leitende Verbindung. Wird dann die Scheibe gedreht, so erhält die Nadel des Multiplicators eine Ablenkung, deren Richtung von der Richtung der Rotation abhängt. Auch weicht die Nadel nach der entgegengesetzten Richtung aus, wenn man die Pole des Magneten, ohne sonst etwas zu verändern, mit einander verwechselt. Die angezeigten Ströme bewegen sich in der Richtung des Radius der Scheibe, und zwar je nach der Umdrehungsrichtung entweder von der Peripherie gegen das Centrum oder im umgekehrten Sinne. Läßt man nur den einen Pol eines Magneten auf die Scheibe wirken, so sind die Erscheinungen im Wesentlichen dieselben und blos der Intensität nach verschieden. Befindet sich z. B. der Nordpol des Magnets über einer horizontalen Scheibe, welche sich schraubenrecht dreht, so zeigt die Ablenkung der Multiplicatornadel einen Strom an, der vom Centrum der Scheibe nach dem Umkreise derselben geht. Wenn man die Verbindung der Scheibe mit dem Multiplicator aufhebt, so müssen diese Ströme natürlich ihren Umlauf in der Scheibe selbst halten, wie die beistehende Fig. II. zeigt, wo der Strom vom Centrum am Magnetpol vorbei zum Umkreise geht, um in dem entfernt vom Pole liegenden Theile der Scheibe zurückzukehren. Hängt man über einer horizontalen, nach rechts rotirenden Kupferscheibe eine horizontale Magnetnadel auf, so erregt der eine Pol n einen Strom, der vom Centrum nach der Peripherie b geht, der Pol s aber einen solchen, welcher von dem Umkreise a nach der Mitte fließt. Daher

I.

II.

*) Pogg. Ann. Bd. XXV. S. 120.

entſteht aus der vereinigten Wirkung beider Pole ein Strom, der von a nach b gerichtet iſt. Dieſe Ströme werden in der Scheibe einen Lauf haben, wie die beiſtehende Figur zeigt. Durch ſolche Ströme wird die Kraft vermittelt, welche die tangentiale Ablenkung der Nadel zur Folge hat.



Scheiben von anderen Metallen zeigen dieſelbe Wirkung, nur verſchieden an Stärke. Obſchon alſo die oben erwähnten Erſcheinungen ohne Zweifel Wirkungen inducirter Ströme ſind, ſo ſcheint doch bei einer Scheibe aus weichem Eiſen die gewöhnliche magnetiſche Vertheilung, welche von den Polen des in der Nähe befindlichen Magneten ausgeht, von vorherrſchendem Einfluſſe zu ſein.

Auch durch die Rotation eines Magneten um ſeine Axe entſtehen, wie Faraday gezeigt, elektriſche Ströme, welche ein Galvanometer zu erkennen giebt, wenn man das eine Ende des Magneten und eine Stelle zwiſchen ſeinen Polen mit den Drahtenden des Galvanometers in leitende Berührung bringt. Es ſei der Magnetſtab mit ſeinem Nordpol nach oben gerichtet und der letztere, ſo wie auch die Mitte des Stabes mit dem Multiplicator in Verbindung. Giebt man nun dem Magneten eine Drehung um ſeine Axe, die in ihrer Richtung mit der der Zeiger einer Uhr (mit dem Zifferblatt nach oben) übereinſtimmt, ſo zeigt der Multiplicator einen elektriſchen Strom an, der von der Mitte des Magnetſtabes zum Nordpol deſſelben gerichtet iſt. Geſchieht die Drehung gegen die des Uhrzeigers, ſo geht der erregte Strom vom Pole zur Mitte. Iſt aber der Südpol nach oben gekehrt und zugleich die Mitte des Stabes mit dem Multiplicator in Verbindung geſetzt, ſo iſt der Strom bei der erſten Drehung vom Pole zur Mitte, bei der zweiten von der Mitte zum Pole gerichtet. — Man erkennt leicht, daß dieſer Verſuch das Gegenſtück zu dem im Artikel Elektromagnetismus erwähnten Verſuche bildet, wo ein um ſeine eigene Axe drehbarer Magnet um dieſelbe in dem einen oder anderen Sinne rotirt, je nachdem ein galvaniſcher Strom von ſeinem nach oben gekehrten Nordpol bis zur Mitte oder in entgegengeſetzter Richtung durch ſeine Maſſe hindurchgeht. Weber *) nennt dieſe Art der Stromerzeugung durch einen Magneten die unipolare Induction. Ein gewöhnlicher Magnetſtab iſt zu betrachten als ein Inbegriff polarerregter Theilchen, ſo daß jedes magnetiſche Molecül oder kleinſte Maſſentheilchen aus zwei entgegengeſetzten Hälften oder Polen beſteht. Wird ein ſolcher Magnet bewegt, ſo wird in einen benachbarten Leiter ein elektriſcher Strom inducirt, der ſo beſchaffen iſt, daß man ihn in zwei Ströme zerlegen kann, von denen der eine durch die Bewegung des nördlichen Pols, der andere durch die Bewegung des ſüdlichen entſteht. Dieſe Induction zweier Ströme durch die Bewegung beider Pole nennt Weber im Allgemeinen die bipolare Induction. Es iſt aber auch eine Induction denkbar, wobei entweder blos ein magnetiſches Element (Pol) bewegt wird, und alſo der von dem anderen inducirte Strom ſtets Null iſt, oder das andere Element des magnetiſchen Molecüls auf einander folgende Ströme von entgegengeſetzten Richtungen inducirt, deren Summe Null iſt, ſo daß auch hier blos derjenige Strom bleibt, welcher vom erſteren Pol

*) Vergl. Pogg. Ann. Bd. LII. S. 353.

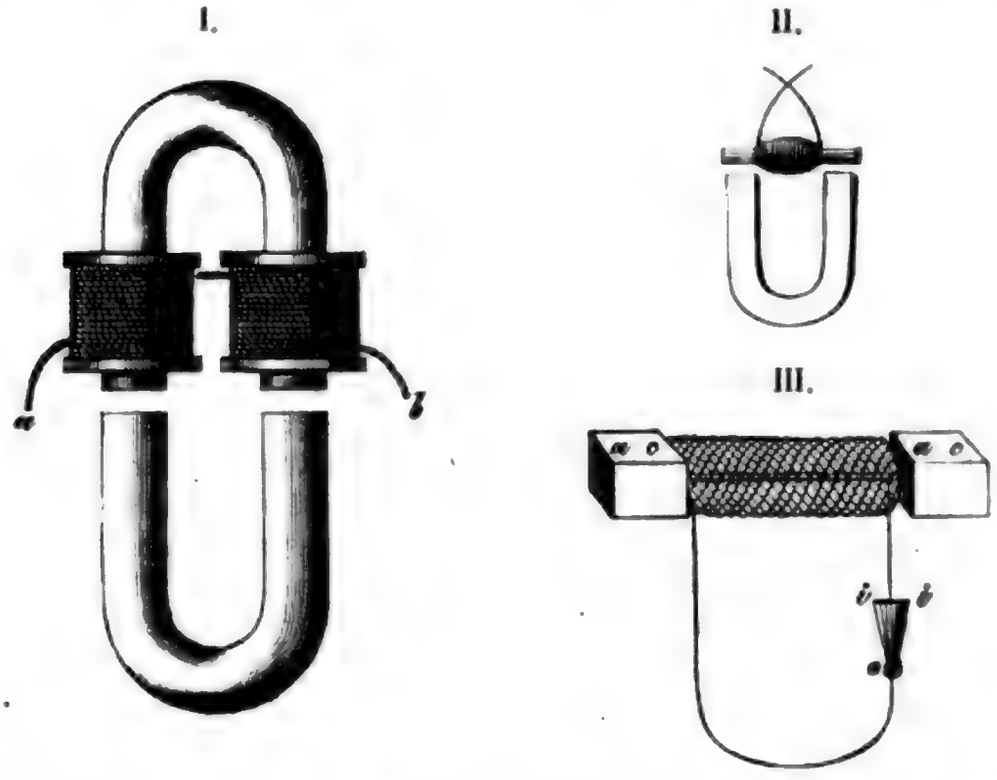
inducirt. Dieſe Induction eines Stromes durch die Bewegung eines magnetiſchen Elements heißt unipolare Induction.

Denkt man ſich nun ein magnetiſches Molecül gegen einen geſchloſſenen metalliſchen Ring ſo bewegt, daß jedes Element (Pol) eine in ſich zurückkehrende Bahn beſchreibt, und zwar ſo, daß der eine Pol die Ringebene durchſchneidet, während die Bahn des anderen Poles ganz außerhalb des Ringes bleibt, was freilich nur möglich iſt, wenn der Ring bei der Bewegung des Molecüls durchbrochen werden kann, ohne daß die metalliſche Schließung deſſelben aufgehoben wird. Der durch die Ringebene gehende Pol erregt dann während ſeiner Bewegung einen Strom von ſtets einerlei Richtung, der andere aber gar keine oder vielmehr zwei ungleichartige Ströme, deren Wirkung im Ganzen verſchwindet. Der Ring kann aber durchbrochen werden ohne Unterbrechung des Kreislaufes, wenn das untheilbare magnetiſche Molecül ſo beſchaffen iſt, daß der galvaniſche Strom mitten zwiſchen beiden Polhälften hindurchgehen kann, weil dann das Molecül während der Durchbrechung des Ringes die leitende Gemeinſchaft unterhält. Der Multiplicatordraht bildet nun mit jeder Linie, die man ſich im Magneten zwiſchen den Berührungspunkten des letzteren mit den Drahtenden des Multiplicators denken kann, einen ſolchen Ring, in welchem durch magnetiſche Molecüle, die nur der einen Hälfte nach hindurchgehen, ein Strom in ſtets einerlei Richtung erregt wird.

Statt der directen Wirkung eines Magnets kann man zur Erzeugung magnetoelektriſcher Ströme auch den vorübergehenden durch Vertheilung hervorgerufenen Magnetismus des weichen Eiſens mit Vortheil verwenden. Schiebt man in die Höhlung einer Drahtrolle einen cylindriſchen Eiſenſtab, und nähert man dem einen oder anderen Ende des letzteren einen Magnetpol, ſo entſteht in den Windungen der Rolle ein Strom von derſelben Richtung, als wenn man den Magneten allein der Drahtrolle in gleichem Sinne genähert hätte. Doch iſt der durch den Magnetismus des weichen Eiſenkerns erweckte Strom von größerer Intenſität, als der durch die gleiche Annäherung des Magneten (ohne den Eiſenkern) entſtehende Strom ſein würde. Durch die Entfernung des Magnetpoles vom Eiſen, wobei dieſes ſeinen Magnetismus verliert, tritt in der Rolle ein gleich ſtarker Strom von entgegengeſetzter Richtung hervor. Zweckmäßiger noch kann man den beiden Enden des Eiſenſtabes gleichzeitig die ungleichartigen Pole eines paſſenden Hufeiſenmagnets nähern. Der Eiſenſtab wirkt dann eben ſo, als ob man in die Höhlung der Drahtrolle von der einen Seite her einen Nordpol, von der anderen aber einen Südpol hineingeſchoben hätte. Da nun beide Pole ihre Bewegung gegen die Drahtrolle hin in entgegengeſetztem Sinne vollführen, ſo müſſen ſie in den Windungen der letzteren Ströme von gleicher Richtung erregen. Zieht man den Hufeiſenmagnet wieder zurück, ſo verhält es ſich gerade ſo, als ob aus der Drahtrolle zwei ungleichartige Magnetpole nach entgegengeſetzten Richtungen herausgezogen worden wären.

Einen langen, mit Seide überſponnenen Kupferdraht wickele man um die beiden Schenkel eines hufeiſenförmigen Stabes von weichem Eiſen, dergeſtalt, daß beide Schenkel bei einem durch die Windungen des Drahtes geleiteten Strome entgegengeſetzte Pole darſtellen würden. Wenn man nun, während die Drahtenden in hinreichender Entfernung vom Eiſen mit einem Multiplicator verbunden ſind, einen ſtarken Hufeiſenmagnet den Schenkeln des umwickelten Eiſens nähert und wieder davon entfernt, ſo erhält man auch hier zwei Inductionsſtröme von entgegengeſetzten Richtungen (ſ. umſtehende Fig. I.). Faßt man die beiden Drahtenden

oder daran befeſtigte metalliſche Handhaben mit den Händen, ſo erhält man unter den erwähnten Umſtänden einen Schlag. Werden aber die beiden Drahtenden in einer ſehr kleinen Entfernung einander gegenübergehalten, ſo ſieht man bei der Annäherung und Entfernung des Hufeiſenmagnets einen Funken überſpringen. Um einen Funken hervorzubringen, kann man ſich auch der folgenden einfachen Vorrichtung bedienen, die in der Hauptſache gleichzeitig von Strehlke *) und Faraday gefunden worden iſt. Den mittleren Theil des Ankers eines ſtarken, horizontal gelegten Hufeiſenmagnets (von etwa 10 — 12 Pfund Tragkraft) umwickelt man in mehreren Lagen mit ungefähr 50 Windungen eines mit Seide beſponnenen $^1/_4$ Linie dicken Kupferdrahtes (Fig. II.). Die beiden Drahtenden, jedes



6 bis 7 Zoll lang, werden von Seide entblöſt und in die Ebene des Magnets gebogen, ſo daß ſie an einer Stelle ſich berühren. In dieſer Lage bleiben ſie leicht, wenn man ſie in gehöriger Weiſe an der Drahtumwickelung mit einem Faden feſt bindet. Setzt man nun den Anker raſch an die Polflächen des Magnets an oder reißt man ihn ſchnell davon ab, ſo fahren die Drähte bei dieſer Bewegung etwas aus einander und man ſieht einen Funken überſpringen.

Zur Erzeugung mehrerer gleichzeitiger Funken hat R. Böttger **) einen ſogenannten Spitzenanker vorgeſchlagen (Fig. III.). Zwei Würfel a c, a c aus weichem Eiſen, deren Seiten $1^1/_4$ Par. Zoll betragen, ſind durch eine dünne cylindriſche Axe mit einander verbunden, um welche in etwa 160 Windungen ein $^2/_3$ Linie dicker, mit Seide beſponnener Kupferdraht geſchlungen iſt, deſſen Enden auf ungefähr 4 Zoll entblöſt und nach unten gekehrt ſind. Um dieſe Enden ſtets

*) Pogg. Ann. Bd. XXV. S. 186.
**) Pogg. Ann. Bd. XXXIV. S. 497.

in derselben Lage zu erhalten, sind sie mittelst einer Schnur an der inwendigen Seite der Würfel befestigt. An dem längeren Drahtende sind nun bei o etwa 20 Spitzen eines ganz feinen übersilberten Kupferdrahtes (womit man gewöhnlich die D-Saiten der Guitarren zu überspinnen pflegt) befestigt, welche man in einer Länge von etwa $^1/_2$ Zoll abschneidet, und sie so biegt, daß sie genau die polirte, der Größe und Gestalt nach einem Pfennige ganz ähnliche Kupferplatte i i schwach berühren. Beim Anlegen und Abreißen dieses Ankers an und von einem ungefähr 50 bis 60 Pfund tragenden Magneten, sieht man dann mehrere Funken zugleich auf der kleinen Kupferplatte entstehen. Außer der Eigenthümlichkeit des Ankers und der Spitzen hat dieser Apparat fast dieselbe Einrichtung wie der von Faraday angegebene. Wirksame Apparate zum Behufe der Funkenerzeugung haben auch Antinori und Nobili angegeben.

Nach dem bisher Mitgetheilten läßt sich wohl erwarten, daß auch durch den Erdmagnetismus elektrische Ströme hervorgebracht werden können. Faraday *) hat dies auf verschiedene Weise nachgewiesen. Steckt man nämlich in die Höhlung einer Drahtrolle einen unmagnetischen Stab von weichem Eisen, so entsteht in dem mit der Drahtrolle verbundenen Multiplicator eine Ablenkung der Magnetnadel, wenn die Axe der Rolle mit dem Stabe in die Richtung einer Inclinationsnadel gehalten oder wieder daraus entfernt wird. Wird die Drahtrolle vorher in die Richtung der Neigungsnadel gebracht und dann ein weicher Eisencylinder hineingesteckt, so weicht die Multiplicatornadel augenblicklich ab. Beim Herausziehen des Cylinders ging die Nadel nach der anderen Seite, und die Resultate waren überhaupt dieselben, als ob von oben her der Nordpol oder von unten her der Südpol eines Magnets in die Drahtrolle geschoben worden wäre. Wenn man aber die Drahtrolle, während der Eisencylinder in ihr fest liegt, schwingend auf und ab bewegt, so daß das eine Ende des Cylinders in der Richtung der Inclination abwechselnd nach oben und nach unten gekehrt ist; so beschreibt die Multiplicatornadel nach zwei- bis dreimaliger Wiederholung dieser Umkehrung (in Uebereinstimmung mit den Schwingungen der anfangs ruhigen Nadel) einen Bogen von 150 bis 160°. Bei Faraday's Versuche bestand die Drahtrolle aus einem etwa 300 Fuß langen und $^1/_{20}$ Zoll dicken Kupferdrahte.

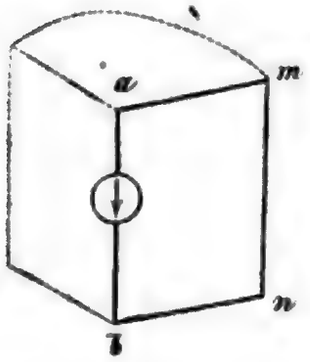
Diese Erscheinungen sind eine nothwendige Folge der vertheilenden Kraft des Erdmagnetismus, wodurch der Eisencylinder zu einem Magneten wird, dessen nördlicher Pol nach unten liegt. Der Versuch ist dem oben erwähnten ähnlich, worin die beiden ungleichartigen Pole eines Hufeisenmagnets zur Magnetisirung desselben Eisencylinders in derselben Drahtrolle angewendet werden, und die Umkehrung der Stellung im gegenwärtigen Versuche hat denselben Erfolg wie die Polumkehrung in jenem Versuche.

Der Erdmagnetismus kann auch unmittelbar, ohne Anwendung eines Stabes aus weichem Eisen einen elektrischen Strom induciren. Als Faraday eine Drahtrolle (ohne Eisenstab) in die Richtung der Neigungsnadel stellte und dann umkehrte, konnte er an der Nadel des Multiplicators eine schwache Ablenkung bemerken. Nach oft wiederholter Umkehrung aber, in solchen Zeiten, daß die ablenkenden Kräfte, welche die erregten Ströme ausübten, das Moment der Nadel

*) Phil. Transact. f. 1832. p. 153. Pogg. Ann. Bd. XXV. S. 142.

verſtärkten, wurde dieſe bald zu Schwingungen von 80° bis 90° gebracht. Nachſtehende Vorrichtung erſchien Faraday als die einfachſte und zweckmäßigſte, um die Induction elektriſcher Ströme durch den Erdmagnetismus, ohne Mitwirkung eines weichen Eiſenſtabes, nachzuweiſen.

Ein etwa 8 Fuß langer, 0,05 Zoll dicker Kupferdraht wird mit ſeinen Enden an die Endſtücke des Galvanometerdrahtes befeſtigt, und dann roh in die Geſtalt eines Rechtecks gebogen. Die untere Seite dieſes Rechtecks nebſt dem damit verbundenen Galvanometer wird befeſtigt, die obere Seite aber beweglich gelaſſen. Wird dieſes Rechteck von der Rechten zur Linken über dem Galvanometer fortgeführt, ſo weicht die Nadel augenblicklich ab; wird es zurückgeführt, ſo weicht ſie nach der entgegengeſetzten Seite ab. Werden dieſe Bewegungen des Rechtecks in Uebereinſtimmung mit den Oscillationen der Magnetnadel wiederholt, ſo läßt ſich die letztere zu einer Schwingung von 90° und mehr bringen. Giebt man a b die Richtung des magnetiſchen Aequators, und bewegt man m n von Nord nach Süd, ſo zeigt die Multiplicatornadel einen Strom an, der in m n von Weſt nach Oſt geht. Dreht man dagegen m n von Süd nach Nord, ſo hat der Inductionsſtrom in m n die Richtung von Oſt nach Weſt. Die Wirkung kann verſtärkt werden, wenn man einen Draht in vielen Windungen um einen hölzernen Rahmen herumführt.



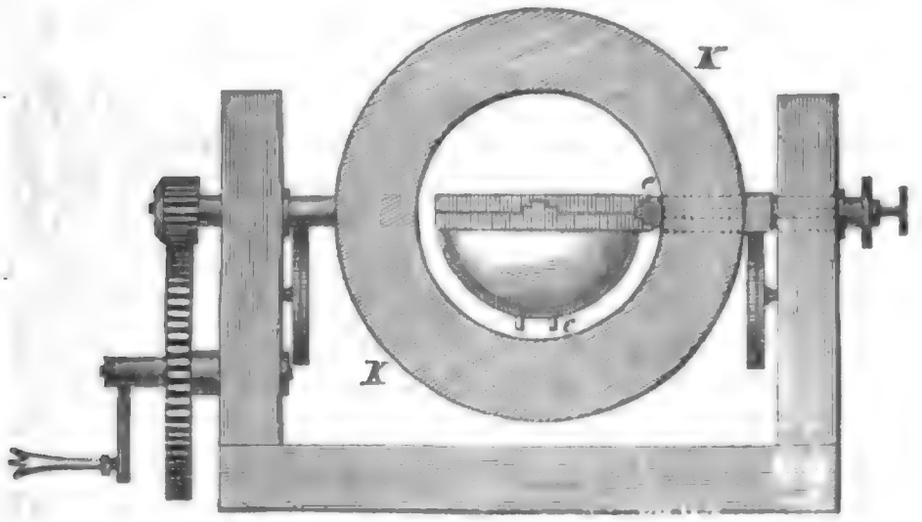
Palmieri*) wickelte eine Spirale von 200 Windungen um einen elliptiſchen Rahmen, deſſen große Axe 2,2 Meter und deren kleine Axe 0,6 Meter lang war. Die große Axe wurde ſenkrecht gegen den magnetiſchen Meridian geſtellt und die Spirale um dieſelbe gedreht. Durch die Wirkung des Erdmagnetismus erhielt Palmieri in dieſer Spirale Inductionsſtröme, welche phyſiologiſche Wirkungen, Funken und Waſſerzerſetzung hervorbrachten.

Auf der Induction durch den Erdmagnetismus beruht das von W. Weber**) angegebene Inductions-Inclinatorium zur Beſtimmung der Inclination der erdmagnetiſchen Kraft. Ein Kupferring K K (ſ. umſtehende Fig.) wird von einer horizontalen Axe getragen, die auf Friktionsrollen liegend, durch Rad und Getriebe ſchnell gedreht werden kann. In dieſem Ringe ſchwebt eine Bouſſole frei auf einer Spitze, die von einem runden horizontalen Zapfen getragen wird, welcher durch den Kupferring geht und die Verlängerung der Drehungsaxe des Ringes bildet. Der Kupferring dreht ſich um dieſen Zapfen, ohne ihn und die Spitze, auf welcher die Magnetnadel ruht, zu bewegen. Stellt man nun dieſes Inſtrument ſo auf, daß die Drehungsaxe des Kupferringes horizontal iſt, und mit dem magnetiſchen Meridian zuſammenfällt, ſo wird die im magnetiſchen Meridian liegende Axe der Bouſſole auch in der Drehungsaxe des Kupferringes ſich befinden. Wenn nun die magnetiſche Axe der Bouſſole in der Drehungsaxe des Kupferringes liegt, ſo kann der Nadelmagnetismus ſo wenig als die horizontale erdmagnetiſche

*) Compt. rend. T. XVI. p. 1440; T. XVIII. p. 762.

**) Reſultate aus den Beobachtungen des magnetiſchen Vereins. Heft II. S. 81. Pogg. Ann. Bd. 43. S. 493.

Kraft im Kupferringe einen elektriſchen Strom induciren. Wohl aber wird der verticale Theil der erdmagnetiſchen Kraft einen Strom im Kupferringe induciren, wenn man dieſen um eine horizontale Axe dreht. Zwei Kräfte wirken auf die



Bouſſole ein, die eine parallel mit dem magnetiſchen Meridian (die Directionskraft des Erdmagnetismus), die andere ſenkrecht gegen den magnetiſchen Meridian (die ablenkende Kraft des Stromes). Jene Directionskraft rührt vom horizontalen, dieſe ablenkende Kraft dagegen von dem verticalen Erdmagnetismus her, und die Tangente des Ablenkungswinkels muß daher dem Verhältniſſe des verticalen und horizontalen Erdmagnetismus, d. i. der Tangente der geſuchten Inclination, proportional ſein. Die horizontale erdmagnetiſche Kraft wirkt unmittelbar auf die in horizontaler Ebene drehbare Nadel; ſie iſt es, durch welche die Nadel die Richtung des magnetiſchen Meridians annimmt. Die verticale erdmagnetiſche Kraft kann dagegen auf die blos in horizontaler Ebene drehbare Nadel nur mittelbar wirken, indem ſie ſelbſt zwar aufgehoben wird, durch Induction im Kupferringe aber eine neue horizontale, auf den Meridian ſenkrechte Kraft erzeugt. Dieſe horizontale Kraft iſt der verticalen, durch die ſie entſteht, proportional. Hat nun die Axe des Inſtrumentes, wie in der Figur angegeben iſt, in der Richtung des magnetiſchen Meridians eine horizontale Lage, ſo entſteht durch den verticalen Theil der erdmagnetiſchen Kraft, wenn man den oberen Theil des Kupferringes von Oſt nach Weſt dreht, ein Strom, durch welchen der Nordpol der Nadel nach Oſt abgelenkt wird. Das Inſtrument iſt nun weiter ſo eingerichtet, daß daſſelbe mit ſeiner Drehungsaxe vertical geſtellt, und dann die Bouſſole auf denſelben Zapfen (durch die Hülſe e) wieder ſo aufgeſtellt werden kann, daß ſie wieder in der Mitte des Kupferringes ſich befindet und in horizontaler Ebene frei drehbar iſt. Dreht man jetzt den Ring um die verticale Axe, ſo inducirt der horizontale Theil der erdmagnetiſchen Kraft einen elektriſchen Strom und bewirkt durch dieſen eine Ablenkung der Bouſſole. Die beiden auf ſolche Weiſe hervorgebrachten Ströme ſind den inducirenden Kräften proportional, und die Tangenten der von ihnen bewirkten Ablenkungen der Bouſſole ſind den ablenkenden Kräften oder jenen beiden Strömen proportional. Daher giebt das Verhältniß der Tangenten beider Ablen-

kungen das Verhältniß der horizontalen und verticalen erdmagnetiſchen Kraft oder die Tangente der geſuchten Inclination. Das Weitere über den Gebrauch dieſes Inſtrumentes findet man in dem Art. Neigung der Magnetnadel.

Die Geſetze, nach denen ſich die Stärke des durch den Magnetismus inducirten Stromes richtet, ſind von Lenz*) genauer unterſucht worden. Hierbei waren zu berückſichtigen die Anzahl und Weite der Windungen, die Dicke und die Subſtanz des Drahtes.

Zur Beſtimmung der Stromintenſität gebrauchte Lenz einen Multiplicator, mit empfindlicher Nobili'ſcher Doppelnadel, von 74 Windungen eines 0,025 engl. Zoll dicken Kupferdrahtes, der mit der magnetoelektriſchen Drahtrolle durch hinreichend lange Leitungsdrähte in Verbindung geſetzt wurde, ſo daß der inducirende Magnet durchaus keine unmittelbare Einwirkung auf die Nadeln des Multiplicators haben konnte. Der letztere wurde mit einem an beiden Enden offenen Glascylinder bedeckt und dieſer mittelſt einer Spiegelglasplatte geſchloſſen. Alsdann wurde über ihm ein guter Spiegel unter 45° Neigung aufgeſtellt, und das in ihm ſich ſpiegelnde Bild der getheilten Multiplicatorſcheibe von einem Standpunkte neben dem Magnete aus mittelſt eines guten Fernrohres beobachtet.

Die Art der Erregung des elektriſchen Stromes in der Spirale (Rolle) war die von Nobili angegebene. Man umwickelte nämlich einen Cylinder von weichem Eiſen, der als Anker diente, und an den Stellen, wo er an den Magneten angelegt wurde, flach gefeilt worden war, mit dem elektromotoriſchen (magnetoelektriſchen) Drahte, und legte ihn dann an den Magneten an oder zog ihn plötzlich von demſelben fort, wodurch der im Augenblicke in dem Anker entſtehende oder wieder verſchwindende Magnetismus den momentanen elektriſchen Strom hervorbrachte. Da aber das Abziehen viel ſicherer, plötzlicher und gleichförmiger geſchehen kann, als das Anlegen, ſo führte Lenz nur die Reſultate an, welche durch das Abziehen des Ankers oder die plötzliche Entfernung des Magnetismus im Eiſen hervorgebracht wurden. Bei der getroffenen Anordnung des Apparates ließ ſich nun mit der rechten Hand die Abreißung des Ankers von dem, an dem Tiſche befeſtigten, Magneten ausführen, während zugleich das Auge im Fernrohre die dadurch verurſachte Abweichung des Multiplicatorzeigers beobachten konnte. Jede einzelne Beobachtung wurde, um zufällige Fehler zu vermeiden, in der Regel zweimal gemacht. Da die Einwirkung des elektriſchen Stromes im Multiplicatordrahte auf die Magnetnadel eine augenblickliche iſt, indem der Strom ſelbſt nur einen Augenblick exiſtirt, ſo läßt ſich dieſe Einwirkung wie ein Stoß auf die Nadel denken, und die Kraft deſſelben durch die Geſchwindigkeit, die er der Nadel ertheilt, meſſen. Dieſe Geſchwindigkeit der Nadel iſt aber dem Ohm'ſchen Geſetze zufolge (ſ. d. Art. Strom, elektriſcher) der Sehne des von dem Endpunkte der Nadel beſchriebenen Bogens, mithin dem Sinus des halben Ablenkungsbogens proportional.

Lenz kam nun durch ſeine Verſuche zu dem allgemein gültigen Geſetze, daß die elektromotoriſche Kraft, welche der inducirende Magnetismus in der Spirale erregt, gleich iſt der Summe der elektromotoriſchen Kräfte der einzelnen Windungen.

---

*) Pogg. Ann. Bd. XXXIV. S. 385.

Darum verhält ſich bei hinreichender Länge des Magneten die elektromotoriſche Kraft der Spirale, bei gleicher Größe der Windungen, und bei gleicher Dicke und gleicher Subſtanz des Drahtes, direct wie die Anzahl der Windungen.

Die elektromotoriſche Kraft, welche der Magnetismus in der ihn umgebenden Spirale erregt, iſt bei jeder Größe der Windungen dieſelbe, falls der inducirende Magnet gegen die Weite der Windungen als unendlich lang anzuſehen iſt, oder wenn der in der Spirale liegende Eiſenſtab, welcher als Anker des vertheilend wirkenden Magnets dient, auf beiden Seiten der Drahtrolle ſich auf eine ſehr große Entfernung hin, (im Verhältniß zur Weite der Windungen) fort erſtreckt *).

Da aber ein ſpiralförmig den Anker umſchließender Draht, je größer ſein Durchmeſſer oder ſein Abſtand vom Anker wird, auch in eben dem Verhältniß eine größere Länge der Einwirkung des Magnetismus im Anker darbietet, ſo folgt aus dem ſo eben aufgeſtellten Geſetze, daß auf ein und daſſelbe Theilchen des Drahtes die elektromotoriſche Einwirkung des Magnets im einfachen Verhältniß der Entfernung abnimmt. Dieſes iſt gewiſſermaßen die Umkehrung des von Biot im Gebiete des Elektromagnetismus erwieſenen Geſetzes (ſ. d. Artikel Elektromagnetismus), nach welchem die geſammte Wirkung eines elektriſchen Schließungsdrahtes auf eine Magnetnadel im einfachen Verhältniß der Entfernung abnimmt, und es folgt aus den Verſuchen von Lenz, wie aus denen Biot's, daß die Wirkung eines magnetiſchen Maſſentheilchens auf ein Theilchen der Spirale im umgekehrten Verhältniß des Quadrates der Entfernung ſteht. Auch folgt unmittelbar weiter, daß der in verſchiedenen den Anker umſchließenden Drahtringen, durch Abziehen deſſelben vom Magnete hervorgebrachte elektriſche Strom ſich umgekehrt wie der Durchmeſſer der Ringe verhalte.

Wenn die Weiten zweier gleich dicker Ringe beiſpielsweiſe wie 1 : 2 ſich verhalten, ſo ſtehen die in jedem Theilchen dieſer Ringe inducirten Elektricitätsmengen in dem Verhältniß von 2 : 1. Der weitere Ring hat aber hier die doppelte Maſſe des engeren, und deshalb werden in beiden Ringen, unter faſt gleichen Umſtänden, gleiche Elektricitätsmengen hervortreten.

Iſt dagegen der inducirende Magnetſtab oder der in der Spirale liegende Anker im Verhältniß zur Weite der Windungen nicht von hinreichender Länge, ſo kommen die weiteren Windungen gegen die engeren etwas in Nachtheil.

„Die durch den Magnetismus in der Spirale hervorgerufene elektromotoriſche Kraft bleibt (bei unverändertem Leitungswiderſtand) für jede Dicke der Drähte dieſelbe, oder iſt von ihr unabhängig.“

Mit dieſem Geſetze ſteht aber in nächſter Beziehung, daß in Windungen von Drähten ungleicher Dicke, welche den Anker des Magneten umgeben, der durch das Abziehen deſſelben hervorgerufene elektriſche Strom ſich direct wie die Querſchnitte der Drähte verhalte. Denn die elektromotoriſche Kraft bleibt dieſelbe, der Leitungswiderſtand nimmt aber umgekehrt wie die Querſchnitte ab, folglich nehmen die elektriſchen Ströme wie die Querſchnitte zu.

„Die elektromotoriſche Kraft, welche der Magnet in Spiralen aus Drähten von verſchiedenen Subſtanzen, die ſich aber ſonſt unter ganz gleichen Umſtänden befinden, erregt, iſt für alle dieſe Subſtanzen vollkommen dieſelbe.“

---

*) Lenz in Pogg. Ann. Bd. XLVII. S. 266.

Es folgt aber hieraus ohne Weiteres, daß ſich in zwei ſonſt ganz gleichen Drahtringen aus verſchiedener Subſtanz, welche den magnetiſchen Anker umſchließen, die elektriſchen Ströme, welche durch Abziehen oder Anlegen deſſelben an den Magneten hervorgerufen werden, direct wie die Leitungsfähigkeiten der Subſtanzen für Elektricität verhalten.

Befindet ſich in der Höhlung einer Drahtrolle, deren Enden mit den Polen einer galvaniſchen Kette verbunden ſind, ein Stab aus weichem Eiſen, ſo weiß man, daß dieſer zu einem Elektromagneten wird. Sind nun um einen hohlen Cylinder von Holz zwei mit Seide beſponnene Kupferdrähte gewunden, von denen der eine mit der Kette verbunden, der andere aber irgend wie geſchloſſen iſt, ſo wird der Inductionsſtrom in dem Nebendrahte durch den in der Höhlung des Cylinders befindlichen Elektromagneten verſtärkt. Wird die galvaniſche Kette geöffnet, ſo entſteht bekanntlich beim Verſchwinden des primären Stromes ein mit dieſem gleichgerichteter Strom im Nebendrahte. Da nun mit dem Aufhören des galvaniſchen Stromes auch der Eiſenſtab ſeinen Magnetismus verliert, und mit dem Verſchwinden des letzteren im Nebendrahte ein Strom entſteht, der gleiche Richtung mit dem primären Strome hat, ſo erkennt man wohl, wie durch die Anweſenheit des Eiſenſtabes in der Inductionsrolle eine Verſtärkung der inducirten Elektricität herbeigeführt werden muß.

Die Zuckungen, welche man auf dieſe Weiſe bei Anwendung einer Drahtrolle mit einem in ihr befindlichen Eiſenkern erhält, können noch bedeutend verſtärkt werden, wenn man ſtatt eines maſſiven Eiſenkerns ein Bündel von Eiſendrähten anwendet, die man durch einen Firniß- oder Seidenüberzug iſoliren kann. Bachhoffner und Sturgeon *) ſcheinen dies zuerſt wahrgenommen zu haben. Zur Aufklärung dieſes Gegenſtandes wurden aber zunächſt von Magnus **) Unterſuchungen angeſtellt.

Derſelbe ſchmolz ein Bündel unbeſponnener Eiſendrähte in einen Cylinder von leichtflüſſigem, Roſe'ſchen Metall ein, der dieſelbe Länge hatte, wie die Drähte. Die Zuckungen, welche bei Anwendung dieſes Cylinders in der Drahtſpirale erhalten wurden, waren ſchwächer als die, welche ein einziger Eiſenſtab von demſelben Gewichte als die Drähte hervorbrachte, während das gleiche Gewicht beſponnener oder unbeſponnener Drähte ſtarke Zuckungen verurſachte.

Hierauf verfertigte er einen Cylinder von leichtflüſſigem Metall, von gleicher Länge mit dem früheren, in den ein Bündel unbeſponnener Drähte, von demſelben Gewichte als die in dem Cylinder eingeſchmolzenen, hineingeſteckt werden konnte. Als dieſes Bündel, umgeben mit dieſem Cylinder, angewendet wurde, wirkte es gleichfalls ſchwächer als ein gleiches Gewicht eines einzigen Eiſenſtabes von derſelben Länge. Aber nicht nur durch die Umgebung mit dieſem etwa $^1/_4$ Zoll dicken, metallenen Cylinder wurde die Wirkung der Drähte ſo bedeutend vermindert, ſondern auch wenn man ſtatt deſſelben eine dünne gezogene Meſſingröhre anwandte. Wurde aber die eine oder andere dieſer Umhüllungen der Länge nach aufgeſchlitzt, ſo trat die Wirkung der Drähte ganz auf dieſelbe Weiſe wieder hervor, wie wenn gar keine Umhüllung vorhanden war.

---

*) Annals of Electricity, Magnet. and Chemistry. Lond. 1837. Vol. I. p. 481.

**) Pogg. Ann. Bd. XLVIII. S. 95.

Durch die Reſultate dieſer Verſuche iſt nun die Erklärung der größeren Wirkſamkeit der Drahtbündel nahe gelegt. Die ſchwachen Wirkungen der letzteren, wenn ſie mit einer Hülle von einem nicht magnetiſchen Metalle umgeben werden, erklären ſich zunächſt daraus, daß der (beim Oeffnen der Kette) aus den Drähten verſchwindende Magnetismus nicht inducirend auf die Drahtſpirale, ſondern auf die das Drahtbündel umſchließende Metallhülle wirkt, ſo lange dieſe einen in ſich geſchloſſenen Leiter bildet, alſo nicht aufgeſchlitzt iſt. Da beim Oeffnen des Schließungsdrahtes der galvaniſchen Kette in jedem benachbarten geſchloſſenen Leiter ein Strom erzeugt wird von gleicher Richtung wie der verſchwindende, ſo entſtehen auch in den Querſchnitten einer maſſiven Eiſenmaſſe (oder eines geſchloſſenen Cylinders von Eiſenblech), die ſich in einer Drahtrolle befindet, beim Oeffnen der Kette Ströme von gleicher Richtung, als der in der Spirale vorhandene. Jeder Querſchnitt des Eiſens bildet nämlich einen neben dem Schließungsdrahte befindlichen geſchloſſenen Leiter, auf den der Schließungsdraht inducirend wirken kann. Die inducirende Wirkung des Schließungsdrahtes auf die Drahtſpirale fällt aber darum, weil ſie ſich auf mehrere benachbarte, geſchloſſene Leiter vertheilt, ſchwächer aus; dazu kommt noch, wie man meint, daß durch die beim Oeffnen der Kette in der Eiſenmaſſe entſtehenden Inductionsſtröme neuer Magnetismus erzeugt, und ſomit das Verſchwinden des vorhandenen Magnetismus verzögert wird. Die inducirende Wirkung des verſchwindenden Magnetismus auf die Drahtſpirale muß deshalb vermindert werden. In einem Bündel von Eiſendrähten dagegen, das nicht von einer metalliſchen Hülle umſchloſſen iſt, können ſolche ſecundäre Ströme nicht aufkommen, da der Querſchnitt eines derartigen Bündels keinen in ſich geſchloſſenen Leiter bildet; und deshalb wird auch die aus dieſen Strömen reſultirende Schwächung der Induction in der Drahtſpirale wegfallen.

Weitere Unterſuchungen über dieſen Gegenſtand hat Dove angeſtellt, der auch die durch Magnetiſiren des Eiſens vermittelſt Reibungselektricität inducirten Ströme in Betracht zog *). Derſelbe gelangte im Weſentlichen zu folgenden Reſultaten.

Die inducirende Wirkung derſelben Eiſenmaſſe, als ununterbrochenes Continuum, iſt im Allgemeinen ſehr verſchieden von der Wirkung derſelben Eiſenmaſſe, wenn ſie in iſolirte Drähte aufgelöſt iſt. Dieſe Verſchiedenheit iſt aber anderer Art, je nach der Weiſe, wie das Eiſen magnetiſirt wurde.

Bei dem Magnetiſiren des Eiſens durch Annähern an einen Stahlmagneten ſteigert ſich durch Auflöſen deſſelben in Drähte keine Wirkung des vom verſchwindenden Magnetismus inducirten Stromes, auch wirkt ein von einer geſchloſſenen leitenden Hülle umgebenes Drahtbündel, wie ein offen daliegendes.

Bei dem Magnetiſiren des Eiſens durch den Schließungsdraht einer galvaniſchen oder Thermo-Kette bleibt, bei dem Auflöſen des Eiſens in Drahtbündel, zwar die galvanometriſche Wirkung des Stromes, welchen der beim Oeffnen der Kette verſchwindende Magnetismus erzeugt, dieſelbe, ſo wie die Eigenſchaft dieſes Stromes, weiches Eiſen zu magnetiſiren; ſeine phyſiologiſchen Wirkungen, die bei ſeiner Unterbrechung erſcheinenden Funken und der durch ihn im Stahl hervorgerufene Magnetismus ſind aber viel kräftiger. Umgiebt man das Draht-

*) Pogg. Ann. Bd. LIV. S. 305; Bd. LVI. S. 268.

bündel mit einer leitenden Hülle, ſo verhält es ſich wie eine maſſive Eiſenmaſſe. Iſt hingegen die Hülle der Länge nach aufgeſchnitten, ſo wirkt es faſt ſo kräftig wie ein offen liegendes.

Der Einfluß leitender Hüllen entſteht durch einen von dem Schließungsdrahte in denſelben inducirten elektriſchen Strom, der ſich in ihnen nachweiſen läßt, wenn man die Ränder der der Länge nach aufgeſchnittenen Hüllen durch ein Galvanometer ſchließt. Aufgeſchnittene Röhren mit unverbundenen Rändern ſind eben ſo unwirkſam als umhüllende Drahtſpiralen mit unverbundenen Enden, oder aus einem zuſammengelegten doppelten Draht gewickelte mit verbundenen Enden. Hingegen wirken eiſerne Drahtbündel umgebende Spiralen mit verbundenen Enden, wie der Länge nach geſchloſſene Röhren, und beide deſto kräftiger, je leitender die Subſtanz, aus der ſie gebildet. Bei dem Magnetiſiren der eiſernen Drahtbündel durch Annähern an einen Magnet ſind ſie unwirkſam, weil hier kein Schließungsdraht wie beim Elektromagnetiſiren vorhanden iſt, der in ihnen einen elektriſchen Strom erregt. Bei maſſiven Eiſenſtäben wirkt die Oberfläche derſelben wie die leitende Hülle, welche ein Drahtbündel einſchließt.

Der in der leitenden Hülle erregte elektriſche Strom ſcheint auf die von dem verſchwindenden Magnetismus des Drahtbündels in Bewegung geſetzte Elektricitätsmenge keinen Einfluß zu haben, dieſe Bewegung ſelbſt aber zu verzögern. Dadurch erklärt ſich, daß der von einem Drahtbündel inducirte Strom bei galvaniſcher Gleichheit einen von maſſivem Eiſen erregten in ſeiner phyſiologiſchen Wirkung übertrifft.

Wir heben hier noch beſonders hervor, daß den Unterſuchungen Dove's*) zufolge inducirte Ströme bei galvanometriſcher Gleichheit ungleich phyſiologiſch wirken können. Die Wirkſamkeit eines elektriſchen Stromes iſt bedingt durch deſſen Stärke und Geſchwindigkeit; die magnetiſchen, chemiſchen, phyſiologiſchen und thermiſchen Wirkungen deſſelben hängen aber von dieſen beiden Factoren nicht in gleicher Weiſe ab (ſ. Strom, elektriſcher). In Bezug auf das Verhältniß des galvanometriſchen Effectes eines Stromes zu ſeiner chemiſchen Wirkung läßt ſich jedoch als erwieſen anſehen, daß für die auf galvaniſchem Wege und durch Induction erhaltenen elektriſchen Ströme die Waſſerzerſetzung der durch den Multiplicator gemeſſenen Stärke der Ströme proportional ſei. Von zwei galvanometriſch als gleich erkannten Strömen kann man daher gleiche chemiſche Wirkung erwarten.

Die Verſuche Dove's zeigen, daß in dem Gebiete der Magnetelektricität ſich ähnliche Unterſchiede geltend machen, als die ſind, welche die Erſcheinungen der Reibungselektricität von denen des Galvanismus trennen.

Auch bei der Reibungselektricität zeigen ſich Unterſchiede der phyſiologiſchen und galvanometriſchen Wirkungen, je nachdem dieſelbe Elektricitätsmenge in längerer oder kürzerer Zeit einen Leiter durchſtrömt. Der den Körper heftig erſchütternde Schlag einer Kleiſt'ſchen Flaſche vermag nicht eine Magnetnadel abzulenken, er erlangt dieſe Eigenſchaft erſt dadurch, daß man durch Einſchalten eines naſſen Fadens in den Schließungsbogen deſſen Leitungswiderſtand vermehrt. Dabei vermindert ſich die phyſiologiſche Wirkung in einer auffallenden Weiſe, während ſich das blendend weiße Licht des Funkens in ein rothgelbes verwandelt. Eben ſo ver-

*) Pogg. Ann. Bd. XLIX. S. 72.

schwindet die Erschütterung vollkommen, wenn man die eine Belegung der Flasche in der Hand hält, der anderen aber mit einer Spitze sich allmälig nähert. Auch unter diesen Bedingungen der allmäligen Entladung durch eine genäherte Spitze tritt, wie Colladon zuerst nachgewiesen hat, eine Wirkung auf die Magnetnadel ein.

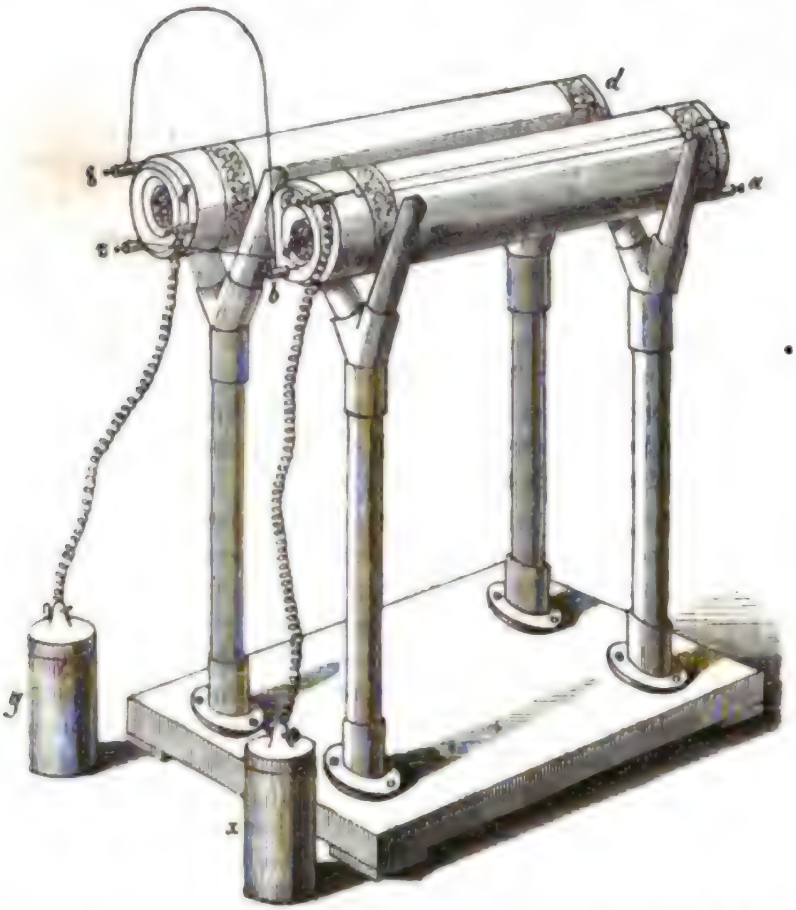
Aehnliche Bestimmungen wie für die physiologische Wirkung des Stromes scheinen auch für seine Eigenschaft, gehärteten Stahl zu magnetisiren, zu gelten; denn entladet man eine Kleist'sche Flasche allmälig durch eine Spitze, so ist der durch den Schließungsdraht in einer Stahlnadel hervorgebrachte Magnetismus entweder ganz unmerklich oder viel geringer als bei der gewöhnlichen Entladungsweise durch einen in eine Kugel endenden Ausladen.

Wenn daher von zwei in demselben Leiter erregten Strömen, welche am Galvanometer dieselbe Ablenkung hervorbringen, der eine eine stärkere physiologische Wirkung und lebhaftere Funken zeigt als der andere, und zugleich Stahl stärker magnetisirt, so wird man annehmen dürfen, daß in dem ersteren eine gleiche Elektricitätsmenge in kürzerer Zeit bewegt werde als in dem letzteren, und umgekehrt bei gleicher physiologischer und magnetisirender Wirkung zweier Ströme wird der von geringerem galvanometrischen Effect eine im Verhältniß seiner verminderten Stärke größere Geschwindigkeit haben.

Dove*) benutzte zu seinen Untersuchungen über die durch Reibungselektricität inducirten Ströme eine Vorrichtung unter dem Namen Differential-Inductor, welche geeignet ist, die Differenz zweier Inductionsströme zu ermitteln. Auf zwei starke cylindrische Glasröhren von 1 Fuß Länge und 1 Zoll Weite sind zwei Spiralen von Kupferdraht in gleichem Sinne gewickelt und ganz in Schellack eingelassen, welches auswendig mit Papier überzogen ist. Jede der Spiralen bildet bei 32 Fuß Drahtlänge 80 Windungen. Von den Drahtklemmen, in welche diese Spiralen enden, wird a (s. umstehende Figur) mit der inneren, d mit der äußeren Belegung der isolirten Batterie verbunden, nachdem diese vermittelst einer selbstentladenden Flasche eine constante Ladung erhalten hat. Da die Klemmen b und c durch einen Querdraht verbunden sind, so bilden die beiden Spiralen a b und c d zusammen den Schließungsdraht der Batterie. Die darauf zu schiebenden, in gleichem Sinne als die inneren gewickelten Inductionsspiralen sind auf Röhren von Pappe in Schellack eingelassen, und haben bei 80 Windungen jede eine Drahtlänge von 45 Fuß. Die Dicke des Drahtes dieser Spiralen ist dieselbe als die des Drahtes der Schließungsspiralen, nämlich eine halbe Linie. Die beiden Enden jeder Nebenspirale befinden sich auf derselben Seite (der Vorderseite der Figur), es läuft daher das umgebogene längere Ende jeder Spirale (β, γ) in einer Glasröhre neben der äußeren Papierbekleidung hin, und ist daran durch zwei seidene Bänder vermittelst darunter gelegter Korkstückchen befestigt. Von den 4 Enden dieser Spiralen sind zwei α und γ durch einen Querdraht verbunden, während die anderen, β und δ, entweder, wie es die Figur zeigt, in Handhaben enden, oder durch eine, eine unmagnetische Stahlnadel enthaltende Spirale, durch ein Galvanometer, einen Elektromagneten, einen Zersetzungsapparat, ein elektrisches Luftthermometer oder ein Breguet'sches Metall-

*) Pogg. Ann. Bd. LIV. S. 305 ff.

thermometer, ein iſolirtes Froſchpräparat, einen Condenſator oder eine Spitzenvorrichtung mit iſolirter Zwiſchenſcheibe von Harz zur Darſtellung von Harzfiguren verbunden ſind. Jede Schließungsſpirale, a b und c d, liegt mit ihrer einhüllenden Nebenſpirale, $\alpha\beta$ und $\gamma\delta$, auf zwei gut mit Schellack überzogenen Glasfüßen



von $^3/_4$ Zoll Durchmeſſer, welche in einer Höhe von $8^1/_2$ Zoll ſich gabelförmig öffnen in zwei Glasſtangen, die bei einer Länge von 3 Zoll oben $1^1/_2$ Zoll von einander abſtehen, und an den lothrechten Stangen durch Meſſingbülſen feſtgekittet ſind. In die inneren Cylinder werden die zu vergleichenden metallenen Cylinder und Drahtbündel hineingelegt, wie es die Figur zeigt, in welcher die Spirale c d einen maſſiven Cylinder, die Spirale a b ein in eine Metallhülle eingeſchloſſenes Drahtbündel enthält. Dieſer Apparat läßt ſich eben ſo für galvaniſche und Thermo-Elektricität als für Reibungselektricität benutzen; doch iſt es für galvaniſche Ströme, zur Erzielung ſtarker Wirkungen, vorzuziehen, dem Schließungsdrahte größere Dicke, dem Nebendrahte hingegen mehr Windungen zu geben, wobei es nicht nöthig iſt auf die Iſolation eine ſo große Sorgfalt zu verwenden, als bei Reibungselektricität erfordert wird.

Entladet man die Batterie durch die inneren Spiralen, ſo erhält man von den gleichartig verbundenen Nebenſpiralen den Schlag des mit dem primären

Strome gleichgerichteten inducirten Stromes. Dieſe Erſchütterung wird verändert, wenn in die vorher leeren Röhren metalliſche Subſtanzen gelegt werden. Bei kreuzweiſer Verbindung der Nebenſpiralen findet für alle hier anwendbaren Prüfungsmittel Stromgleichgewicht ſtatt, welches durch Einführung eines Metalls in eine der compenſirten Spiralen ſogleich aufgehoben wird. Der dann hervortretende Strom wirkt nicht ablenkend auf die Magnetnadel, da ſelbſt bei der ſorgfältigſten Iſolirung der Windungen Funken zwiſchen denſelben überſpringen. Seine Richtung wurde deshalb durch das von Rieß angegebene Verfahren mittelſt Harzfiguren und des Condenſators geprüft.

Die ſchon angeführten Unterſchiede zwiſchen eiſernen Stäben und eiſernen Drahtbündeln erreichen nun nach Dove ihr Extrem, wenn das Magnetiſiren derſelben durch den Entladungsſchlag einer Leydner Flaſche geſchieht. Eine Drahtſpirale mit Eiſenkern inducirt nämlich einen in allen ſeinen Wirkungen ſtärkeren Strom in einer ſie umgebenden Nebenſpirale, als die leere Drahtſpirale ohne Eiſenkern, wenn der galvaniſche Strom, welcher dieſes Eiſen magnetiſirte, aufhört. Die Verſtärkung der phyſiologiſchen Wirkung durch Auflöſen dieſes Eiſenkerns in Drähte iſt daher eine Steigerung einer bereits von dem maſſiven Eiſen auch ausgeübten Wirkung. Die inducirende Wirkung der von dem momentanen Strome einer ſich entladenden Leydner Flaſche durchfloſſenen leeren Spirale iſt hingegen, was die phyſiologiſchen und elektroſkopiſchen Wirkungen des Nebenſtromes betrifft, größer, als wenn ein maſſiver Eiſenkern in derſelben enthalten iſt, hingegen kleiner, als die, welche ein darin befindliches eiſernes Drahtbündel hervorbringt. Umgiebt man das Drahtbündel mit einer geſchloſſenen Hülle, ſo wirkt das vorher verſtärkende Bündel nur wie ein maſſiver Stab, d. h. ſchwächend. Der thermiſche Effect des Nebenſtromes wird hingegen, ſowohl durch maſſives Eiſen als durch Drahtbündel geſchwächt, die Eigenſchaft, Stahl zu magnetiſiren, aber verſtärkt.

Der phyſiologiſche Effect des durch Reibungselektricität inducirten Stromes wird geſchwächt durch hineingelegte maſſive Metallſtücke, und verſtärkt durch freiliegende Bündel von gefirnißten Drähten, nicht allein wenn letztere aus Eiſen beſtehen, ſondern auch bei ſolchen aus Meſſing, Kupfer, Zinn, Antimon und ſogar bei Queckſilber in verſiegelten Glasröhren. In Bezug auf die Erklärung dieſer Erſcheinungen ſtellt Dove *) noch folgende Betrachtungen an.

„Der in einem das Eiſen ſpiralförmig umgebenden Drahte wirkſame elektriſche primäre Strom erzeugt in dem Momente, wo er entſteht, in dem Eiſen elektriſche Ströme, während ſeiner Dauer magnetiſche Polarität, die ſich langſamer ſteigert als jener Strom, im Moment ſeines Aufhörens wieder einen elektriſchen Strom. Der bei dem Aufhören des primären Stromes erzeugte zweite mit dem primären gleichgerichtete elektriſche Strom wirkt dem durch den verſchwindenden Magnetismus erzeugten entgegen. Hatte, wie es bei galvaniſchem Magnetiſiren der Fall iſt, der Magnetismus während der längeren Dauer des Stromes Zeit, ſich zu entwickeln, ſo überwiegt die Wirkung deſſelben die entgegengeſetzte des bei dem Aufhören des primären Stromes erzeugten elektriſchen. Alle gegen die Bildung elektriſcher Ströme angewendeten Mittel ſteigern daher nur eine von maſſivem Eiſen bereits

*) Pogg. Ann. Bd. LIV. S. 305. 324.

auch ausgeübte Wirkung. Ist hingegen der primäre Strom so schnell vorübergehend wie der einer sich entladenden elektrischen Batterie, hat also der Magnetismus nicht Zeit, sich vollständig zu entwickeln, so überwiegt der bei dem Aufhören des primären Stromes erzeugte elektrische die Wirkung des verschwindenden Magnetismus. Das Zerstören dieser elektrischen Ströme durch Auflösen der Masse in Drähte oder die Hemmung ihrer Bildung in einer schlecht leitenden Masse, wie bei dem Nickel, kehrt daher hier die Wirkung vollständig um, indem es den Ausschlag auf Seiten des verschwindenden Magnetismus bringt. Die Gleichgewichtsgrenze beider ist aber für die thermischen, physiologischen und magnetisirenden Wirkungen nicht dieselbe, weil nämlich die Abhängigkeit derselben von der Intensität des verschwindenden Magnetismus eine andere sein wird, als ihre Veränderung durch den entgegenwirkenden elektrischen Strom; für die magnetisirenden Wirkungen waltet daher noch die Wirkung des verschwindenden Magnetismus vor, wenn für die thermischen der erzeugte elektrische Strom überwiegt, und die physiologischen Erscheinungen auf beide Seiten dieser Grenze fallen."

Dove*) vermutbet nun, daß die sogenannten unmagnetischen Metalle in Beziehung auf die Eigenschaft des Stromes, Stahl zu magnetisiren, sich so verhalten wie Eisen für die elektroskopischen und physiologischen Eigenschaften desselben, d. h. daß sie unmagnetisch scheinen, weil die mit dem Magnetisiren gleichzeitig erregten elektrischen Ströme die Wirkung der magnetischen Polarität verdecken, daß sie es aber in der That nicht sind. Um die letztere hervortreten zu lassen, kommt es nach Dove nur darauf an, die Bildung der elektrischen Ströme zu verhindern, d. h. sie ebenfalls in Drähte aufzulösen und dann die Richtung des inducirten Stromes durch Magnetisiren einer Stahlnadel zu prüfen. Hierzu läßt sich der Differential-Inductor verwenden. Die magnetische Polarität eines Drahtbündels inducirt nämlich bei ihrem Verschwinden in einem Nebendrahte einen elektrischen Strom, der sich stets durch Magnetisiren einer Stahlnadel nachweisen läßt. Die Polarität dieser Stahlnadel bleibt immer dieselbe, wenn ein magnetisirbares Metall in eine der vorher compensirten Spiralen des Differentialinductors gelegt wird, aber sie ist schwächer, wenn das magnetisirbare Metall ein massiver Stab oder eine Scheibensäule, als wenn es ein Bündel isolirter Drähte ist. In diesem Falle wird sie nämlich von einem von der leeren Spirale ausgehenden Strome bestimmt. Geht also der Strom von der mit dem Drahtbündel irgend eines Metalls gefüllten Spirale aus, so ist das Metall magnetisch, geht er hingegen von der leeren aus, ein unmagnetisches. Bei den elektroskopischen und physiologischen Erscheinungen des vom elektromagnetisirten Eisen und Nickel inducirten Stromes stellte sich die auffallende Thatsache heraus, daß der schwächere magnetische Nickel stärker wirkt als das stärker magnetische Eisen, weil in jenem schlechter leitenden Metall die verzögernden elektrischen Ströme sich nicht so gut bilden können, als in dem besser leitenden Eisen, d. h. in Beziehung auf elektroskopische und physiologische Prüfung verhält sich das massive Eisen wie ein unmagnetisches Metall, während es für das Magnetisiren der Nähnadel noch als magnetisches wirkt. Löst man es aber in isolirte Drähte auf, d. h. verhindert man die Bildung verzögernder elektrischer Ströme, so wirkt es auch in dieser Beziehung als magnetisches Metall.

---

*) Pogg. Ann. Bd. LIV. S. 325. 330.

Wenn man die Enden einer einfachen galvaniſchen Kette, etwa eines conſtanten elektriſchen Paares, durch einen kurzen Draht mit einander verbindet, ſo erhält man weder beim Schließen noch beim Oeffnen der Kette einen merklichen Funken oder Schlag. Merklicher ſchon wird Funke und phyſiologiſche Wirkung, wenn man einen ſehr langen Schließungsdraht nimmt, deſſen Enden man beim Oeffnen der Kette mit den Händen faßt. Die Intenſität dieſer Wirkung wird noch erhöht, wenn man den langen Schließungsdraht zu einer Spirale aufwindet, eine abermalige Verſtärkung tritt ein, wenn man in die Spirale oder Drahtrolle einen Stab aus weichem Eiſen geſchoben hat. Die auf ſolche Weiſe geſteigerte Wirkung zeigt ſich jedoch nur beim Oeffnen, nicht aber beim Schließen der Kette. Faraday *) hat hierüber zuerſt genauere Unterſuchungen angeſtellt und gezeigt, daß die Erſcheinung ihre Urſache in einer Induction hat, welche der primäre Strom des Schließungsdrahtes auf den letzteren ſelbſt ausübt. Wie ein Strom, während er verſchwindet, einen Strom von gleicher Richtung in jeder benachbarten Metallmaſſe erzeugt, ſo entſteht auch ein ſolcher Strom in dem Schließungsdrahte der Kette ſelbſt, und durch dieſen wird, da er gleiche Richtung mit dem urſprünglichen hat, die Wirkung des letzteren verſtärkt. Iſt der Schließungsdraht zu einer Spirale gewunden, ſo entſteht bei der Unterbrechung des Stromes nicht nur durch Induction eine Verſtärkung deſſelben, wie bei dem geraden Drahte, ſondern es wird auch noch mit dem Verſchwinden des elektriſchen Stromes aus jeder einzelnen Windung ein Strom in der benachbarten Windung inducirt, und dadurch die Wirkung geſteigert. Befindet ſich endlich in der Drahtrolle ein Stab aus weichem Eiſen, ſo erlangt dadurch der inducirte Strom eine neue Verſtärkung, weil das Eiſen durch den umlaufenden Strom magnetiſche Polarität annimmt, deren Aufhören bei der Unterbrechung des Hauptſtromes im Schließungsdrahte einen Strom veranlaßt, welcher gleiche Richtung mit dem inducirten hat. Beim Schließen der Kette hat aber der Inductionsſtrom eine dem Hauptſtrome entgegengeſetzte Richtung, weshalb die Wirkung in dieſem Falle unmerklich iſt.

Es gelten nun für dieſen in dem Schließungsdraht der Kette auftretenden Inductionsſtrom im Ganzen dieſelben Geſetze, welche wir bereits in Hinſicht auf den in einer Nebenſpirale inducirten Strom kennen gelernt haben. Auch bei ihm wird die Wirkung, und zwar aus denſelben Gründen erhöht, wenn man in die ſchließende Drahtrolle ſtatt des maſſiven Eiſenſtabes ein Bündel iſolirter Eiſendrähte bringt. Man nennt den Inductionsſtrom des Schließungsdrahtes den Extraſtrom (Extra current) oder Gegenſtrom (Contre current), wohl auch inducirten Strom zweiter Ordnung. Moſer **) nannte ihn den ſuccedirenden Strom. Die Vergrößerung des Funkens durch längere, um ein Eiſen gewickelte Drähte hatte Dove ***) ſchon früher gefunden, und Nobili ****) hatte noch früher die Vergrößerung durch die bloße Verlängerung des Schließungsdrahtes wahrgenommen.

*) Lond. and Edinb. Phil. Mag. T. V. No. 29. p. 349. Pogg. Ann. Bd. XXXIV. S. 292, Bd. XXXV. S. 413.

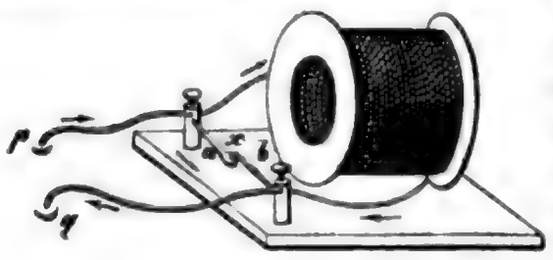
**) Dove u. Moſer Repert. Bd. I. S. 328; vergl. auch Jacobi in Pogg. Ann. Bd. XLV. S. 132.

***) Pogg. Ann. Bd. XXIX. S. 463.

****) Antol. di Firenze. No. 136. Pogg. Ann. Bd. XXVII. S. 456.

Magnus *) gebrauchte zu Verſuchen über den Extraſtrom eine einfache Kette, welche aus einer ſpiralförmig gewundenen Zink- und Kupferplatte, jede von 1 Quadratfuß Oberfläche, in Schwefelſäure beſtand. Der mit Seide überſponnene Schließungsdraht war um die Schenkel eines Hufeiſens (mit kreisförmigem Querſchnitt) gewickelt, jedoch nicht unmittelbar, ſondern über zwei Meſſinghülſen, von denen jede auf einen Schenkel des Hufeiſens geſteckt werden konnte. Dieſe Drahtſpiralen waren gewöhnlich ſo mit einander verbunden, daß das Eiſen zwei ungleichnamige Pole an ſeinen beiden Enden erhielt. An den Stellen, wo die Drahtenden des Elektromagnets in die an der Kupfer- und Zinkplatte befeſtigten Queckſilbernäpfchen tauchten, waren meſſingene Handhaben von Cylinderform angebracht. Wenn man dieſe Handhaben in den befeuchteten Händen hielt und durch Ausheben des einen Drahtendes aus dem Queckſilber die Leitung unterbrach, ſo bekam man Zuckungen, die am ſchwächſten erſchienen, wenn die Pole des Elektromagnets durch einen Anker verbunden waren, am ſtärkſten hingegen, wenn das Hufeiſen ohne Anker in den Spiralen lag. In jenem Falle wurde der Anker mit entgegengeſetzten Polen ſelbſt magnetiſch, und dadurch die Wirkung des Elektromagnets und ſeine inducirende Wirkung auf die Drahtſpirale aufgehoben, ſo daß nur derjenige Strom wirken konnte, welchen der Leitungsdraht durch Induction auf ſich ſelbſt erregte. Als die Schließungsſpiralen allein ohne das Eiſen angewendet wurden, waren die Zuckungen ungleich ſtärker, welche bei eingebrachtem Eiſen mit angelegtem Anker erfolgten, woraus, wie Magnus bemerkt, hervorgeht, daß die Wirkung des Ankers nicht allein darin beſteht, daß derſelbe die Induction des Eiſens aufhebt, ſondern daß derſelbe noch eine andere Wirkung ausübt, welche der Induction des Drahtes auf ſich ſelbſt entgegenwirkt. Wurde die Leitung, während der ſpiralförmige Schließungsdraht um das Eiſen mit vorgelegtem Anker befeſtigt war, unterbrochen, ſo blieb der Anker am Eiſen haften, und es blieb alſo das letztere magnetiſch. Wurden nun (bei geöffneter Kette) die Handhaben in den befeuchteten Händen gehalten, und dadurch eine leitende Verbindung zwiſchen den Enden des Drahtes mittelſt des Körpers hergeſtellt, und alsdann der Anker abgeriſſen, ſo erhielt man eine Zuckung ſtärker oder ſchwächer, je nachdem der Anker plötzlich abgeriſſen oder abgeſchoben wurde. Dieſe Zuckungen ſind nur eine Wirkung der Induction des Eiſens auf den Draht. So lange der Anker an dem Eiſen haftet, hebt er die inducirende Wirkung deſſelben auf. Werden aber beide getrennt, ſo verſchwindet der Magnetismus, und es entſteht ein Strom in dem Drahte.

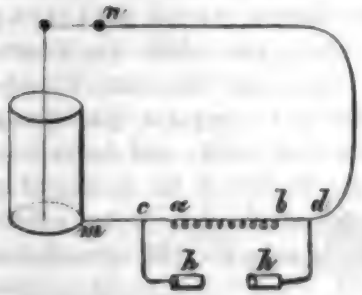
Faraday hat die Wirkung des Extraſtromes auf folgende Art nachzuweiſen geſucht. Um eine Spule von Holz iſt ein etwa 400 Fuß langer und $^1/_2$ Linie dicker Kupferdraht aufgewunden, deſſen Enden in die Queckſilbernäpfchen p und q tauchen, welche mit den Polen einer galvaniſchen Kette in Verbindung geſetzt werden. Außerdem ſieht man noch zwei Querdrähte a und b, welche an den langen Draht gelöthet ſind. Der Strom geht nun in der Richtung der Pfeile theils durch die Drahtſpirale, theils auch



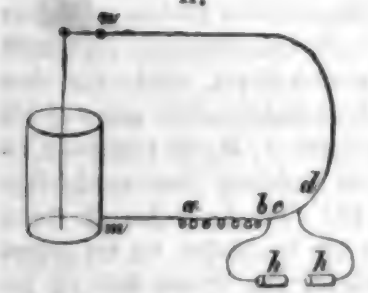
*) Pogg. Ann. Bd. XXXVIII. S. 417.

durch die Drähte a, b nach q. Da der größere Theil des Stromes durch die letzterwähnten Drähte geht, falls ſie ſich berühren, ſo entſteht nur ein ſchwacher Funke, wenn man die Kette etwa bei q öffnet. Werden aber die Drähte a, b bei x ein wenig von einander getrennt, ſo giebt ſich der beim Oeffnen der Kette in der Spirale erzeugte Extraſtrom als ein Funke zu erkennen, der von b nach a überſpringt. Dieſe Richtung zeigt ein eingeſchalteter Multiplicator oder auch ein mit Jodkalium befeuchtetes Papierblättchen, das bei x zwiſchen die Drähte a und b gelegt wird. Das Jod tritt bei b, das Kalium bei a aus. Befeſtigt man an die Enden der Drähte Handhaben, welche man mit befeuchteten Händen anfaßt, ſo erhält man beim Oeffnen der Kette einen kräftigen Schlag.

I.



II.



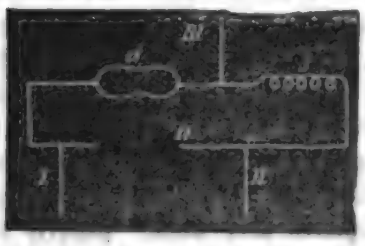
Eine Induction des Schließungsdrahtes auf ſich ſelbſt hat Dove *) auch bei der Entladung einer Leydner Flaſche dargethan. Bezeichnet nämlich m n (Fig. I.) den Schließungsdraht der Flaſche und a b den ſpiralförmig gekrümmten Theil deſſelben, c h h d eine Nebenſchließung, die bei den Handhaben h h durch den Körper vollzogen wird, ſo erhält man in dem Moment, wo der Funken bei n überſpringt, eine Erſchütterung, nicht aber, wenn die Nebenſchließung, wie in Fig. II. angebracht iſt, auch wenn die zwiſchen h und h enthaltene Drahtlänge in beiden Fällen dieſelbe iſt. Im erſteren Falle iſt der ſpiralförmige Theil des Schließungsdrahtes durch den h und h verbindenden Körper geſchloſſen, im letzteren aber nicht. Rührte die Erſchütterung von einer Theilung des Stromes her, ſo müßte ſie in beiden Fällen eintreten. Da dies nicht der Fall iſt, ſo iſt ſie die Wirkung einer wahrhaften Induction. Die Verſtärkung des Schlages durch ein Bündel von Eiſendrähten iſt ſehr deutlich. Ueberhaupt zeigte ſich dieſe Induction vollkommen identiſch mit der früher betrachteten in getrennten Drähten.

Faraday vermuthete, daß wie beim Oeffnen eines Elektromotors, ſo auch beim Schließen deſſelben entſprechende Effecte durch eine Spirale und einen Elektromagneten im Schließungsbogen entſtehen müſſen. Dieſe Effecte werden im erſten Moment einen Widerſtand erzeugen, alſo etwas dem Schlage und Funken Entgegengeſetztes bewirken. Für die Nachweiſung ſolcher Effecte hat nun Dove **) eine bequeme Vorrichtung angegeben. Nach ihm läßt ſich ein elektriſcher Strom, der entſteht oder deſſen Intenſität zunimmt, in jedem Augenblicke als aus zwei Theilen beſtehend betrachten, aus einem unverändert bleibenden Antheil und einem neu hinzukommenden, und ein Strom, deſſen Intenſität abnimmt, aus einem unverändert bleibenden und einem verſchwindenden Antheil. Alsdann könne man das Inductionsgeſetz, nach welchem ein primärer Strom bei ſeinem Beginne einen

*) Pogg. Ann. Bd. LIV. S. 322.
**) Pogg. Ann. Bd. LVI. S. 251.

entgegengesetzt fließenden inducirt, bei seinem Aufhören einen ihm gleich gerichteten, allgemeiner so ausdrücken: ein primärer Strom inducirt, so lange sich seine Intensität steigert, einen entgegengesetzten, so lange sie abnimmt, einen gleichgerichteten secundären Strom. Nennt man nun Nebenstrom den von einem primären Strome in einem ihm parallelen, aber von ihm getrennten Drahte inducirten Strom, Gegenstrom (Extracurrent) hingegen den in einem spiralförmigen Schließungsdrahte mit oder ohne Eisenkern durch Wirkung jeder einzelnen Windung auf die zunächst liegenden hervortretenden secundären, sieht man also diesen Gegenstrom als einen speciellen Fall des Nebenstromes an, bei welchem nämlich ein und derselbe Draht den Weg abgiebt für den primären Strom und den inducirten, so werden die für den Nebenstrom gefundenen Erscheinungen auch in Beziehung auf den Gegenstrom als wahrscheinlich vorausgesetzt werden können.

Den primären Strom erzeugte Dove durch eine Sarton'sche von Oertling construirte magnetoelektrische Maschine (s. weiter unten), bei welcher die Unterbrechung durch Messingfedern geschieht, welche auf zwei, mit hölzernen Einsatzstücken versehenen eisernen Walzen schleifen. Hinsichtlich der näheren Einrichtung dieser Maschine verweisen wir auf die citirte Abhandlung selbst, und heben hier nur diejenige Vorrichtung heraus, deren Kenntniß zur Einsicht in die vorliegenden Erscheinungen wesentlich ist. In der nebenstehenden Figur bezeichnet a den umwickelten rotirenden Anker, durch dessen vorübergehenden Magnetismus elektrische Ströme in der Drahtumwickelung inducirt werden. s ist eine Extraspirale, u die Unterbrechung vermittelst einer intermittirenden Feder, welche hier eben die metallische Oberfläche verläßt und auf den Holzeinsatz übergeht; I, II, III bezeichnen die Zuleitungsdrähte zum Strommesser. Diese letzteren gestatten drei verschiedene Verbindungen, nämlich I und II, I und III, II und III. Bei der ersten ist Anker und Extraspirale in der Verbindung, bei der zweiten nur der Anker, bei der letzten nur die Spirale. Während der Rotation des Ankers von 0° bis 90° ist der umhüllende Draht desselben vollkommen metallisch geschlossen, und die sich in ihm steigernde Intensität des primären Stromes entwickelt in der Spirale s einen entgegengesetzt fließenden Extrastrom, der die Wirkung des primären demnach schwächt. Im Moment der Unterbrechung bei u hört der primäre Strom in a auf und es entwickelt sich dann, wenn nämlich die Spirale s ein in sich zurücklaufendes Ganze bildet, in derselben ein, mit dem primären gleichgerichteter Extrastrom, der die Wirkung des primären verstärkt. Soll die Bildung dieses zweiten mit dem primären gleichgerichteten Extrastromes (Gegenstromes) vermieden werden, so muß im Moment der Oeffnung bei u die Extraspirale aus der schließenden Verbindung heraustreten. Dies geschieht, wenn I mit III verbunden wird. Schließt man hingegen I mit II, so erhält man den primären Strom vermindert durch den Einfluß des entgegengesetzt fließenden von 0° bis 90° sich bildenden Anfangsgegenstromes, und vermehrt durch die Wirkung des bei der Oeffnung bei u sich bildenden mit dem primären gleichgerichteten Endgegenstromes. In welchem Sinne hier die Endwirkung geschehe, kann beurtheilt werden, wenn man statt der Spirale s eine, gleichen Leitungswiderstand darbietende, aber keine Spirale bildende Drahtlänge



einſchaltet. Die Schließung durch I und II giebt dann die Wirkung des primären Stromes allein. Schließt man endlich II und III, ſo erhält man, wenn s geradlinig ausgeſpannt, gar keine Wirkung, hingegen, wenn s eine Spirale, einen mit dem primären gleich gerichteten Strom, d. h. die Wirkung des Endgegenſtromes allein. Bezeichnet man daher mit p den primären Strom, mit A den Anfangsgegenſtrom, mit E den Endgegenſtrom, ſo erhält man bei I und II: $p - A + E$, bei I und III: $p - A$, bei II und III: E. Aus Verſuchen mit dieſem Apparate ging hervor, daß der Extraſtrom zu Anfang in ſeinen negativen Wirkungen durch dieſelben Mittel geſteigert wird als der Extraſtrom am Ende in ſeinen poſitiven, und daß in beiden Fällen Drahtbündel ſtärker phyſiologiſch wirken als maſſive Eiſenmaſſen.

Nach Meſſungen von Edlund *) ſind die beim Oeffnen und Schließen der galvaniſchen Kette entſtehenden Inductionsſtröme gleich groß, wenn die inducirende Stromſtärke in beiden Fällen dieſelbe iſt.

Um eine raſche Folge von Inductionsſtrömen auf eine bequeme Weiſe hervorbringen zu können, hat man beſondere Apparate, die man Inductionsmaſchinen nennt. Man unterſcheidet zwei Arten derſelben, je nachdem die Induction durch das Entſtehen und Verſchwinden des Magnetismus oder unter Mitwirkung eines galvaniſchen Stromes vollführt wird. Solche Apparate nun, bei denen ein Stahlmagnet thätig iſt, nennt man gewöhnlich magnetoelektriſche Maſchinen. Die erſte Maſchine dieſer Art wurde von Pixii (und faſt gleichzeitig von Ritchie) conſtruirt **), welcher dann durch Sarton ***), Clarke ****), v. Ettingshauſen, Petrina *****), Stöhrer ꝛc. mancherlei Verbeſſerungen zu Theil wurden.

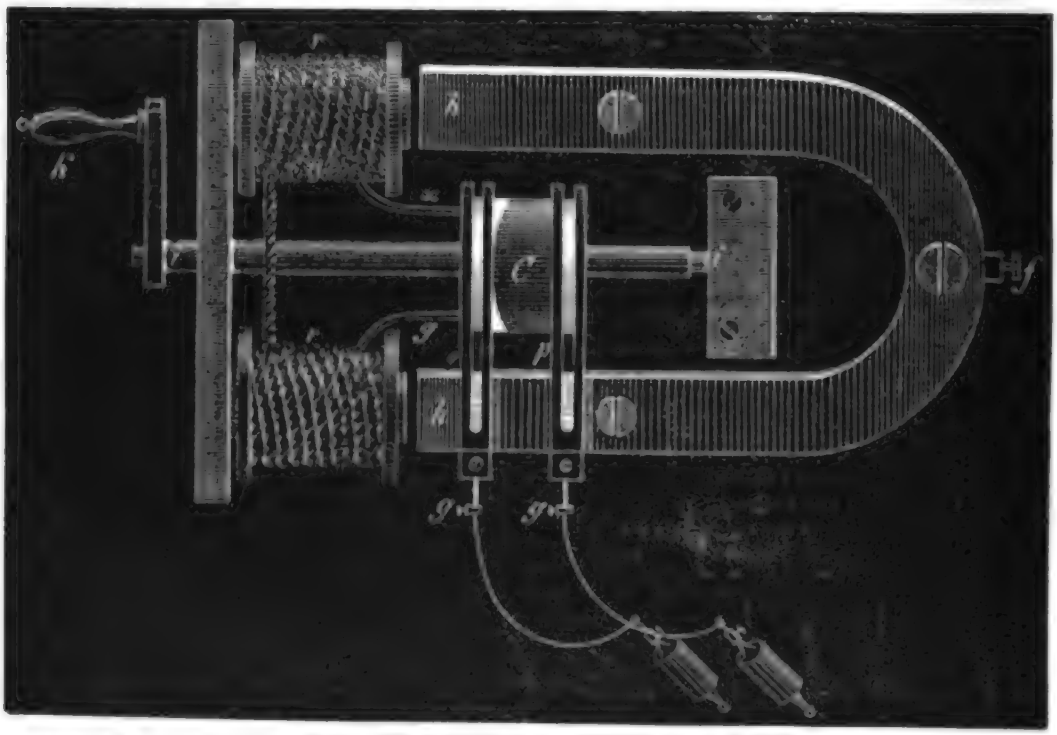
Man denke ſich vor den Polen eines hufeiſenförmigen Stahlmagnets zwei Stäbe aus weichem Eiſen oder die Schenkel eines Hufeiſens, die von einem Drahte ſpiralförmig umwickelt ſind (vergl. Fig. I. auf S. 18). Dreht man nun das Hufeiſen um eine zwiſchen ſeinen Schenkeln liegende und mit dieſen parallel laufende Are, ſo nehmen die Schenkel eine wachſende magnetiſche Polarität an, wenn ſie ſich den Polen des Magnets nähern, und es entſteht dann in der Spirale ein elektriſcher Strom. Mit der Entfernung der Schenkel von den Polen nimmt aber die Intenſität dieſer magnetiſchen Polarität wieder ab, und es wird, wenn die Drehung bis zu 90° fortgeſchritten iſt (wo die Verbindungslinie der Schenkel die Verbindungslinie der Pole winkelrecht durchſchneidet), mit dem Verſchwinden des Magnetismus in den Schenkeln des Hufeiſens ein dem vorigen entgegengeſetzter Strom in der Spirale inducirt. Bei der weiteren Drehung bis zu 180° nehmen die Schenkel die entgegengeſetzte Polarität an, welche einen Strom inducirt, der mit dem durch das Verſchwinden der vorigen Polarität entſtandenen Strome gleiche Richtung hat. Das Verſchwinden der einen Polarität und das Entſtehen der entgegengeſetzten hat nämlich hier denſelben Einfluß auf die Drahtumwickelung, als wenn man einen in einer geſchloſſenen Drahtſpirale liegenden Magnetſtab herauszieht und dann mit dem entgegengeſetzten Pole wieder hineinſchiebt. Durch

*) Pogg. Ann. Bd. LXXVII. S. 161.
**) Pogg. Ann. Bd. XXVII. S 390 u. 398.
***) London and Edinbg. Phil. Mag. No. LV. p. 360. Pogg. Ann. Bd. XXXI. S. 401.
****) Lond. and Edinbg. Phil. Mag. No. LIV. p. 262.
*****) Magnetoelektriſche Maſchine von der vortheilhafteſten Einrichtung. Linz 1844.

beide Manipulationen wird in der Spirale ein Strom von gleicher Richtung inducirt. Setzt man die Drehung des Hufeiſens über 180° hinaus fort, ſo wiederholen ſich die eben beſchriebenen Vorgänge, jedoch mit dem Unterſchiede, daß die inducirten Ströme die entgegengeſetzte Richtung der vorigen haben. So folgen von einer halben Umdrehung zur anderen entgegengeſetzte Ströme auf einander, und man erkennt, daß man die Anzahl dieſer Ströme in einer gegebenen Zeit durch Beſchleunigung der Rotation ſehr vermehren kann. Sind die Enden a und b der Drahtumwickelung (Fig. I. S. 18) durch eine Leitung mit einander verbunden, ſo wird alſo ein elektriſcher Strom bald von a nach b, bald von b nach a hindurchgehen. Bei einer magnetoelektriſchen Maſchine iſt nun zwiſchen a und b eine Vorrichtung angebracht, welche bewirkt, daß in einer damit verbundenen Leitung c d den auf einander folgenden entgegengeſetzten Strömen einerlei Richtung ertheilt wird. Dies geſchieht ſo, daß wenn der Strom von a nach b geht, a mit c und b mit d in Verbindung ſteht, während bei der umgekehrten Stromesrichtung (von b nach a) b mit c und a mit d verbunden iſt. In der Leitung c d iſt dann gewiß ein Strom vorhanden, der immer dieſelbe Richtung behauptet. Eine ſolche Vorrichtung nennt man Commutator.

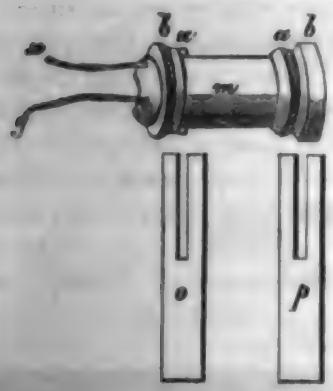
I.

Die nachſtehende Fig. II. zeigt eine kleinere magnetoelektriſche Maſchine von Stöhrer, wie ſie häufig zu mediciniſchen Zwecken benutzt wird. Vor den Polen



des Hufeiſenmagnets h h ſieht man die Inductionsrollen r, r, in deren Innerem ſich Kerne aus weichem Eiſen befinden. Dieſer Magnet iſt aus 5 Stahllamellen zuſammengeſetzt, die an der Vorderſeite eben abgeſchliffen ſind, und von denen jede etwa 5 Millimeter dick iſt. Die Inductionsrollen können vermittelſt der Kur-

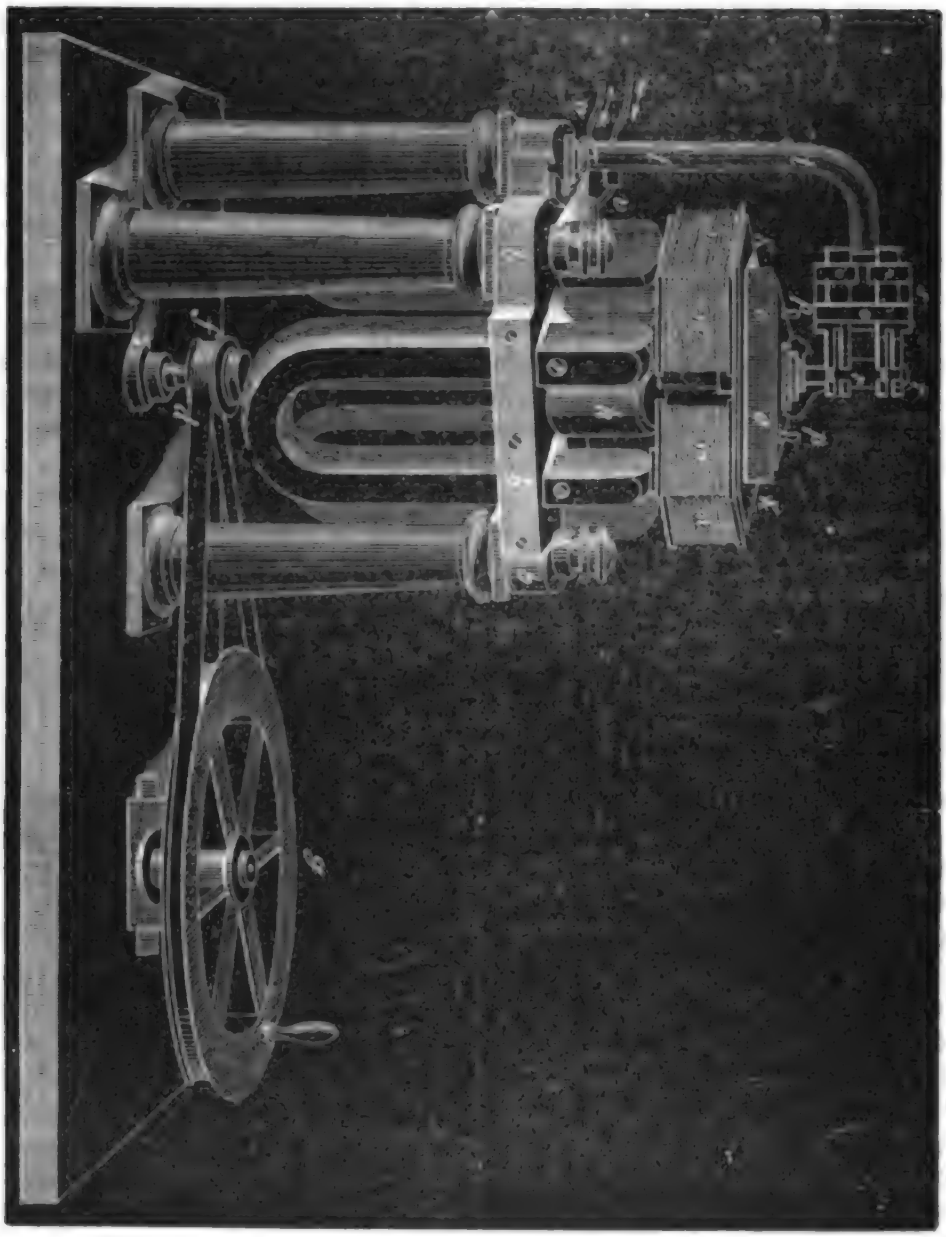
bei k um die Axe oder Welle i i gedreht werden. Eine Schraube l, welche mit dem Magneten in Verbindung ſteht, dient dazu, um die Pole deſſelben (der größeren oder geringeren Wirkung wegen) den Inductionsrollen nach Belieben nähern oder davon entfernen zu können. Die einen Drahtenden beider Inductionsrollen ſind durch einen Querdraht mit einander verbunden, während die beiden anderen Enden zu dem Commutator c führen, der folgendermaßen eingerichtet iſt. An den beiden Enden eines Meſſingrohres m ſind zwei Stahlringe a, a ſo aufgelöthet, daß ſie einander genau gegenüberliegen, und die Enden derſelben etwas überragen. Innerhalb des Rohres m, von demſelben durch ein dünnes Buchsbaumrohr getrennt, befindet ſich ein zweites Meſſingrohr, welches an beiden Seiten etwas hervorragt. Die Vorſprünge tragen zwei mit dem Rohre aus einem Stücke gedrehte Scheiben von gleichem Durchmeſſer mit dem äußeren Rohre m. Auf dieſe Scheiben ſind ebenfalls zwei den erſteren a, a ganz gleiche Stahlringe b, b gelöthet, ſo daß ſie jenen correſpondiren. Dieſes Syſtem wird im Innern mit Siegellack verkittet und dadurch in allen ſeinen Theilen befeſtigt, auf die vorn dünner zulaufende Welle geſchoben. Durch ein Schräubchen kann der Commutator in jeder Stellung auf der Welle i i (Hauptfigur) befeſtigt werden. Die von den Inductionsrollen auslaufenden Drahtenden ſtehen mit den Drähten x und y in Verbindung, von denen x zur inneren Hülſe und den an beiden Enden befindlichen Stahlringen, y zu dem äußeren Rohre und den auf demſelben angebrachten Stahlringen führt. Zwei flache dünne Stahlfedern o, p ſind auf dem Geſtelle der Maſchine ſo angebracht, daß ihre vorderen geſchlitzten Enden die Stahlringe von oben leicht berühren; ſie können nach Belieben mittelſt einer Schraube mehr oder weniger geſpannt werden. In dem Augenblicke, wo der eine Schenkel der Feder den entſprechenden Ring verläßt, entſteht ein Funke; derſelbe Schenkel ſteht dann frei, während der andere den unter ihm liegenden Ring ſchon berührt hat, bei deſſen Ende ein zweiter Funke entſteht. In demſelben Augenblick berührt der erſte Schenkel ſchon den ihm zugehörigen Ring von Neuem ꝛc. Auf dieſe Weiſe wird von einer halben Umdrehung zur anderen abwechſelnd das äußere und innere Meſſingrohr mit jeder Stahlfeder in Berührung gebracht und dadurch die entſprechende Umkehrung des Stromes bewirkt. Mit den Stahlfedern ſind die Klemmſchrauben g, g' leitend verbunden, in welche Metalldrähte mit metallenen Handhaben befeſtigt werden können.



Das Maximum der Stromſtärke tritt gewöhnlich ein, wenn die Linie, welche die Axen der beiden Inductionsrollen mit einander verbindet, ſenkrecht zur Verbindungslinie der beiden Magnetpole ſteht. Die Beſchaffenheit der Inductionsrollen läßt ſich aber, in Hinſicht auf die beſondere Wirkung, welche durch die Maſchine erzielt werden ſoll, im Allgemeinen nach den S. 22 ff. aufgeſtellten Geſetzen beurtheilen. Wenn nämlich außerhalb der Drahtrollen ein bedeutender Leitungswiderſtand zu überwinden iſt, was ſtattfindet, wenn der Strom durch den menſchlichen Körper oder durch Flüſſigkeiten gehen muß, ſo nimmt man viele Win-

dungen eines dünnen Drahtes. Dagegen iſt eine geringere Anzahl Windungen eines dickeren Drahtes, unter Anwendung eines ſtarken Magnetes, dem Zwecke entſprechender, wenn der äußere Widerſtand gering iſt.

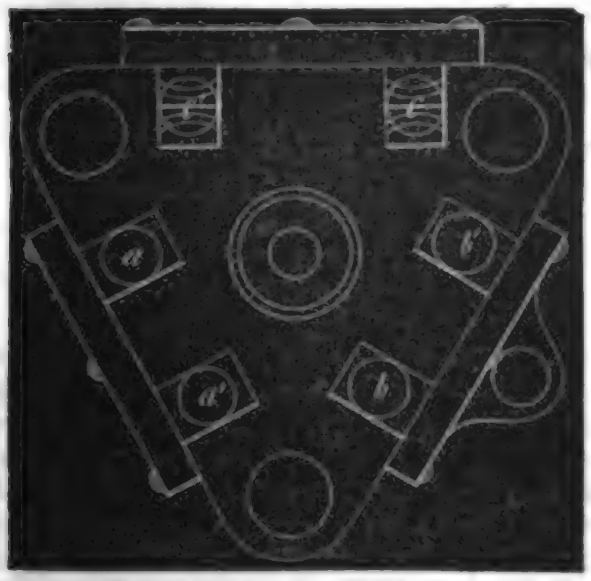
Nachſtehend iſt eine größere zuſammengeſetzte magnetoelektriſche Maſchine von Stöhrer *) abgebildet, die zu den meiſten Verſuchen, zu welchen man ſonſt



eine Elektriſirmaſchine oder galvaniſche Kette anwendet, benutzt werden kann. Drei Magnete wirken hier zu gleicher Zeit auf ſechs Inductoren, da mehrere kleinere

*) Pogg. Ann. Bd. LXI. S. 417. 426.

Magnete verhältnißmäßig eine weit ſtärkere Wirkſamkeit haben als ein großer von gleichem Gewichte. Jeder der drei hufeiſenförmigen Magnete beſteht aus 6 Lamellen. Die Polflächen dieſer vertical ſtehenden Magnete bilden runde Scheiben, die bei allen gleich groß ſein und deren Mittelpunkte alle in der Peripherie eines Kreiſes liegen müſſen. Die in beiſtehender Figur von oben geſehenen Polflächen a a', b b', c c' liegen in einem Kreiſe in einer Ebene, und ſind alle unter einander gleich weit entfernt. Alle drei Magnete ſind in dem Mittelpunkt ihres nach unten gekehrten Bogens in einem meſſingenen Kreuze befeſtigt, welches zwiſchen drei ſtarken hölzernen Säulen vermittelſt einer Schraube ſich auf und nieder ſtellen läßt. Mit ihren Schenkeln gehen die Magnete durch ein ſtarkes Brett b b b (S. 38) hindurch, deſſen Anſicht im Viertel der Größe nebenſtehende Fig. vorſtellt. Die in der Hauptfigur etwas ſichtbare, ſtarke eiſerne Welle läuft mit ihrem unteren ſtählernen Zapfen in dem ſtählernen Lager d, und trägt ein wenig höher die Riemenſcheibe f, von welcher der Riemen auf das horizontale Schwungrad g läuft. Das obere Lager der Welle iſt in dem hölzernen Aufſatz h befindlich. Das oben über das Lager hinausragende Ende der Welle trägt ein ſtarkes Meſſingkreuz, auf welchem der eiſerne Ring k k concentriſch mit der Welle aufgeſchraubt iſt. An der unteren Fläche dieſes Ringes ragen die ſechs Eiſenkerne hervor, deren untere, über den Magnetpolen laufende Flächen zugleich mit der Welle abgedreht worden ſind. Die Dimenſion dieſer Kerne iſt 44 Millim. Länge, 29 Millim. Durchmeſſer. Die Inductionsſpiralen, wozu der Draht von 1 Millim. Stärke genommen wurde, ſind auf Holzrollen gewunden, welche auf die Eiſenkerne geſteckt werden. In der Figur ſind nur 4 dieſer Rollen m, m, m, m ſichtbar. Die zwölf Enden ſämmtlicher Spiralen laufen von unten in die Holzbüchſe o o, und können dort durch Drehung des meſſingenen Deckels p p, der mit Zeiger und Marken verſehen iſt, auf vier verſchiedene Weiſen unter ſich und mit dem Commutator r verbunden werden. Die Verbindung Nr. 1, welche die geringſte Spannung giebt, verbindet jede Rolle einzeln mit den Enddrähten des Commutators, Nr. 2 verbindet je zwei Spiralen, Nr. 3 je drei Spiralen mit dem Commutator, und Nr. 4, welche die größte Spannung liefert, verbindet alle ſechs Spiralen hinter einander und die Enden der Kette mit dem Commutator.

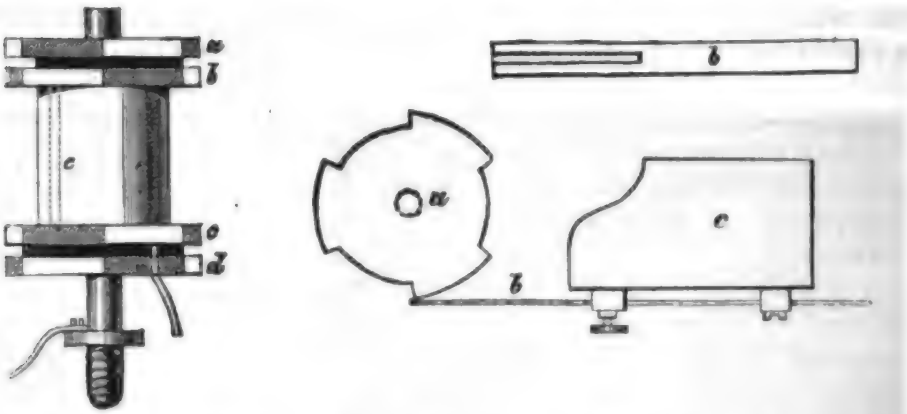


Während einer jeden Umdrehung findet ein ſechsmaliger Stromwechſel in der Kette ſtatt, welchen der Commutator r, der ſich am oberſten Ende der Welle befindet, zu rectificiren hat. Zwei geſchlitzte Stahlfedern, welche auf dem Klötzchen

s verſtellbar eingerichtet ſind, führen den rectificirten Strom durch das gebogene Meſſingrohr t t in die Endgefäße v v, von wo aus er nun verwendet werden kann.

Der Commutator beſteht hier aus vier Stahlſcheiben a b c d (Fig. II.), von denen a mit d und b mit c in metalliſcher Verbindung ſteht. Getrennt ſind beide Syſteme im Innern durch die angedeutete Hülſe von Buchsbaum e e. Jede Scheibe hat drei Ausſchnitte a (Fig. II.), und bei zwei neben einander liegenden Scheiben

I. II.



liegt ſtets ein Ausſchnitt neben einem vollen Segment. Die auf den oben erwähnten Klötzchen hier c angebrachten geſchlitzten Federn b b laſſen ſich in dem Meſſingklötzchen f vor- und rückwärts ſtellen, und mittelſt der Schraube mehr oder weniger an die Stahlſcheiben andrücken. Bei der Verbindung Nr. 1 (ſ. oben) ſind 6 Drahtenden des Inductors mit der inneren Hülſe des Commutators, und die 6 anderen mit der äußeren verbunden. Bei Nr. 2, wo je zwei Spiralen zu einer verbunden ſind, ſtehen drei Drahtenden mit der inneren und 3 mit der äußeren Hülſe in Verbindung, bei Nr. 3, wo je drei Spiralen zu einer verknüpft ſind, zwei Drahtenden mit der einen und zwei mit der anderen, und bei Nr. 4, welche, wie bereits erwähnt, alle 6 Spiralen hinter einander verbindet, iſt das eine Drahtende mit der inneren, das andere mit der äußeren in leitende Gemeinſchaft gebracht.

Die Funken, welche man bei der Verbindung Nr. 1 am Commutator wahrnimmt, geben einen ſtark knallenden Ton, und werfen dabei in außerordentlich reichen Strahlen verbrennende Stahltheilchen nach allen Richtungen und auf große Entfernung von ſich. Wenn man ſtatt der etwas ſtarken Feder, welche das Klötzchen s trägt, eine vorn recht ſchwach gefeilte Uhrfeder mit etwas Oel benetzt und auf die richtige Stelle des Commutators hält, ſo erreichen viele der ausfahrenden Strahlen eine Länge von 8 bis 10 Zoll.

Ein Papierſpan mit Terpentinöl oder Spiritus getränkt, entzündet ſich, an die Funken gehalten, augenblicklich. Ein Platindraht von $^1/_4$ Millim. Stärke und 12 Millim. Länge kommt bis zur höchſten Weißglühhitze. Ein Hufeiſen von 120 Millim. Schenkellänge und 10 Millim. Stärke des Eiſens, welches 4 Reihen von Umwindungen trägt, hält ein Gewicht von 10 Pfund ſchon dann, wenn man die Maſchine im langſamſten Tempo umdreht; bei ſchnellerem Umdrehen trägt daſſelbe Hufeiſen 18 Pfund. Mit der Verbindung Nr. 4 zerſetzte Stöhrer in

einem Apparate, deſſen Platinelektroden nur 100 Quadratmillim. Oberfläche halten, Waſſer, und erhielt in 110 Secunden 1 Cubikzoll Knallgas. Gut gebrannte Lindenkohle kam bis zu $2^1/_2$ Millim. Durchmeſſer zum Glühen, und gab beim Verbrennen ein dem Auge unerträgliches Licht, welches ein Zimmer von 800 Cubikellen vollkommen erleuchtete.

Mit Rückſicht auf dieſe eben beſchriebene Stöhrer'ſche Maſchine hat W. Weber *) ein Maß für die Wirkſamkeit magnetoelektriſcher Maſchinen gegeben. Aus einem etwa $^2/_3$ Millimeter dicken, 370 Berliner Ellen langen überſponnenen Kupferdrahte wurde eine Rolle von ungefähr 120 Millimeter Durchmeſſer gebildet, und der Strom der Maſchine durch dieſelbe geleitet. Ihre Wirkung war dann, wie die eines ſtarken Magnets, in der Ferne noch ſo groß, daß die dadurch hervorgebrachte Ablenkung eines Magnetometers (ſ. d. Art.), mit Hülfe von Spiegel und Fernrohr, ſich genau meſſen ließ. Es ließen ſich damit ähnliche Ablenkungsverſuche machen, wie mit einem Magnetſtabe bei der Meſſung der Intenſität des horizontalen Theiles der erdmagnetiſchen Kraft nach abſolutem Maße nach der von Gauß gegebenen Vorſchrift ausgeführt werden.

Die Stromſtärke iſt abhängig von der Geſchwindigkeit des Drehens oder der Wechſel des Stromes, wo unter Wechſel der Uebergang der Inductionsrollen von einem Pole zum entgegengeſetzten bei der Drehung der Maſchine verſtanden wird. Unter der Vorausſetzung, daß mit der Beſchleunigung der Wechſel die Stromſtärke ein Maximum erreicht und von da an wieder abnimmt, läßt ſich die Abhängigkeit der Stromſtärke g von der Zahl n der Wechſel durch die Gleichung

$$g = \frac{an}{1 + bn + cn^2}$$ ausdrücken, wo a, b und c drei aus den Verſuchen zu beſtimmende Conſtanten ſind.

Die Urſache, daß die Stromſtärke, obſchon ſie mit der Geſchwindigkeit des Drehens wächſt, dieſer doch nicht proportional iſt, ſieht W. Weber in der Coërcitivkraft des Eiſens, welche daſſelbe verhindert, den durch Vertheilung in ihm erregten Magnetismus ſogleich in ganzer Stärke anzunehmen. Lenz **) iſt jedoch durch ſeine Unterſuchungen über dieſen Gegenſtand zu dem Schluſſe gelangt, daß die Nichtproportionalität des Wachsthums der elektromotoriſchen Kraft und der Drehungsgeſchwindigkeit der magnetoelektriſchen Maſchine, nicht in der Trägheit des Eiſens zur Annahme des Magnetismus ihren Hauptgrund habe, ſondern daß die geringere Steigerung der elektromotoriſchen Kraft vorzüglich durch die Stärke des erregten Stromes bedingt werde. Dieſe Schwächung der elektromotoriſchen Kraft müſſe alſo von einer Rückwirkung des Stromes in den inducirten Spiralen auf die inducirenden Eiſencylinder herrühren, welche Rückwirkung ſich nur als Magnetiſirung äußern könne ***).

Die Wirkungen des magnetoelektriſchen Stromes hängen nun nicht allein von der Stromſtärke, ſondern auch von der Drahtlänge ab, welche zur Ablenkungsrolle oder zu dem Multiplicator verwendet werden kann, durch welchen der Strom z. B. auf eine Magnetnadel oder auf ein Stück weiches Eiſen wirkt. Die Wirkſamkeit der Maſchine iſt daher nach dieſer Drahtlänge und Stromſtärke abzuſchätzen,

*) Pogg. Ann. Bd. LXI. S. 431.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXVI. S. 494.
***) Pogg. Ann. Bd. LXXVI. S. 513 ff.

und kann durch das Product beider gemeſſen werden. Nach Verſchiedenheit der Umſtände erhält dieſes Product verſchiedene Werthe, unter denen einer ein Maximum iſt. Das Product iſt aber ein Maximum, wenn erſtens der ganze Leitungsdraht außerhalb der Maſchine zum wirkenden Multiplicator oder zur Ablenkungsrolle verwendet wird, und wenn zweitens der Widerſtand in dem äußeren Leitungsdrahte dem Widerſtande des Drahtes in der Maſchine gleich iſt. Das Maß der Wirkſamkeit der Maſchine läßt ſich dann mit Hülfe des Ohm'ſchen Geſetzes (ſ. Art. Strom, elektriſcher) beſtimmen.

Bei der Vergleichung der Wirkſamkeit verſchiedener Maſchinen iſt erforderlich: 1) Gleiche Geſchwindigkeit des Wechſels zum Grunde zu legen. 2) Die Wirkſamkeit nach dem Producte der Stromſtärke in die Länge des disponiblen Schließungsdrahtes zu beurtheilen. 3) Den disponiblen Schließungsdraht bei jeder Maſchine dabei ſo abzumeſſen, daß die Hälfte des Geſammtwiderſtandes in der Kette auf ihn kommt. 4) Endlich nach den Geſetzen äquivalenter Leitungsdrähte die disponiblen Schließungsdrähte der verſchiedenen Maſchinen auf gleiche Maſſen von gleichem Metall zu reduciren.

Allen Beſtimmungen über die Wirkſamkeit magnetoelektriſcher Maſchinen kann, wie W. Weber bemerkt, ein noch höherer Werth, als dieſe Vergleichungen haben, ertheilt werden, wenn man ſie auf abſolutes Maß reducirt, wodurch ſie unabhängig von den Inſtrumenten werden, welche man benutzt hat, und von Ort und Zeit, wo die Verſuche gemacht wurden. Dabei kommt es hauptſächlich nur auf die Beſtimmung der Stromſtärke nach abſolutem Maße an (ſ. d. Art. Strom, elektriſcher).

Die von W. Weber ausgeführten Meſſungen *) lieferten für die Stöhrer'ſche Maſchine ein günſtiges Reſultat. Wenn auch nicht zu erwarten ſteht, ſagt derſelbe, daß durch beſſere Conſtruction ſo viel erreicht werde, wie mit hydrogalvaniſchen Ketten, ſo haben dieſe Maſchinen doch dadurch einen großen praktiſchen Vorzug vor den letzteren, daß ſie unveränderlich und unabhängig von allen chemiſchen Proceſſen ſind. Sie gewähren für alle Zwecke, zu welchen ihre Kraft genügt, die größte Bequemlichkeit im Gebrauche, weil ſie ohne Vorbereitung jederzeit fertig und anwendbar ſind, ſobald nur ein Rad oder eine Kurbel gedreht wird. Der praktiſche Gebrauch wird mit ihren Leiſtungen ſich ſchnell erweitern. Es iſt daher wichtig, daß jede Verbeſſerung geprüft und das Wachsthum der Leiſtungen Schritt für Schritt verfolgt werde.

Schließlich fügt W. Weber **) ſeiner Abhandlung noch eine Bemerkung über die größte magnetiſche Wirkſamkeit der Maſchine bei. Der Schließungsdraht der Maſchine beſitzt magnetiſche Kräfte, die nicht blos von der Stromſtärke und Drahtlänge, ſondern auch von der Form des Drahtes abhängen. Das magnetiſche Moment wird für eine beſtimmte Form des Drahtes ein Maximum, und dieſe Form iſt die Kreisform. Unter Vorausſetzung der Kreisform ergiebt ſich nun das merkwürdige Reſultat, daß, wenn man zum Schließungsdrahte äquivalente Drähte von demſelben Metall (Kupfer) nimmt, d. h. Drähte, deren Längen und Querſchnitte in dem nämlichen Verhältniſſe ſtehen, die alſo ihrer Maſſe nach verſchieden ſind, ihre magnetiſchen Momente ihren Maſſen direct proportional ſind.

*) Pogg. Ann. Bd. LXI. S. 440 ff.
**) A. a. O. S. 446.

Nach Lenz *) muß bei den magnetoelektriſchen Maſchinen der Commutator für jede Geſchwindigkeit, oder für jede Stromſtärke ſeine eigene Stellung erhalten, wenn das Maximum der Wirkung eintreten ſoll. Unter anderen betrachtet er die Funkenerzeugung am Commutator, welche die Unterbrechung und Umkehrung des Stromes begleitet, als ein einfaches Mittel, um die richtige Stellung des Commutators ohne alle Meſſung zu finden, indem er dabei von der von ihm gemachten Erfahrung ausgeht, daß die Funken immer ſchwächer werden, je mehr ſich die Stellung des Commutators der richtigen nähert, und gänzlich verſchwinden, ſobald dieſe erreicht iſt. Hiernach ſoll man nun den Commutator ſo lange drehen, bis bei der beabſichtigten Geſchwindigkeit keine Funken mehr erfolgen. Man werde finden, daß dieſe Stellung eine andere werde bei einer anderen Geſchwindigkeit, und daß, wenn der Commutator die richtige Stellung habe, man bei Beginn der Drehung zwar Funken erhalte, die aber verſchwinden, ſobald die beabſichtigte Geſchwindigkeit erreicht iſt.

Beiträge zur weiteren Vervollkommnung der magnetoelektriſchen Maſchine hat Sinſteden gegeben **). Mit Rückſicht auf die Erfahrung, daß, wenn man einen ſchwachen Magneten mit gleichnamigen Polen auf einen ſtarken Magneten legt, der Magnetismus des erſteren geſchwächt, vernichtet wird, oder ſelbſt ſeine Pole umgekehrt werden, je nach der Stärke des größeren Magneten, macht er darauf aufmerkſam, daß man beim Zuſammenlegen eines aus vielen und verſchieden ſtarken Lamellen zuſammengeſetzten Magneten ſorgfältig vermeiden müſſe, eine dünne Lamelle auf eine ſtarke zu legen, oder eine einzelne Lamelle auf 4, 5 bis 6 ſchon zuſammengelegte Lamellen zu bringen. Am zweckmäßigſten ſei es daher, zu zuſammengeſetzten Magneten nur gleich ſtarke Lamellen zu wählen, und dieſe nach dem Streichen ſo zuſammenzulegen, daß immer nur zwei gleich ſtarke Pole zuſammenkommen. Zuerſt lege man daher die geſtrichenen Lamellen ohne Anker zu zweien zuſammen, dann zwei zu zweien, darauf vier zu vieren ꝛc. So vermeidet man durch das Zuſammenlegen ſelbſt die Schwächung einzelner Lamellen. Durch vielfache Verſuche mit einem größeren magnetoelektriſchen Rotationsapparate, bei dem in die Inductionsſpiralen verſchiedenartige Eiſenkerne beliebig eingeſetzt werden konnten, gewann Sinſteden die Ueberzeugung, daß auch bei dieſen Maſchinen Inductionsrollen mit weichen, unter ſich gut iſolirten Eiſendrahtbündeln ſolchen mit maſſiven Eiſencylindern vorzuziehen ſeien, ſowohl wenn es ſich darum handelt, eine große Strommenge, als auch eine große Stromſpannung hervorzubringen, alſo bei kurzen dicken ſowohl, als auch bei langen dünnen Inductionsſpiralen ***). Einem von Oertling conſtruirten Commutator gibt er in ſofern vor dem beſchriebenen Stöhrer'ſchen den Vorzug, als jener einen mehr ununterbrochenen Strom liefere, wovon der Grund darin liege, daß bei dem von Stöhrer die Stromverwechſelungsvorrichtung mit der Stromunterbrechungsvorrichtung in Eins vereint ſei, wogegen bei dem Oertling'ſchen Commutator dieſe Vorrichtungen von einander getrennt, benutzt werden können. Die weiteren Betrach-

*) Pogg. Ann. Bd. LXXVI. S. 494. 523.
**) Pogg. Ann. Bd. LXVI. S. 29. 195. 524.
***) Vergl. dagegen Dove: Unterſuchungen im Gebiete der Inductionselektricität. Berlin 1842. S. 58.

tungen *) Sinſteden's erſtrecken ſich vorzugsweiſe auf den Einfluß, welchen die Höhe der Magnetpole, ihre Entfernung von einander, die Dicke der Eiſenkerne und die Stellung derſelben entweder den Stirnflächen oder den Seitenflächen des Magnets gegenüber haben. Zur Erzielung eines ungewöhnlich großen Stromes empfiehlt er (ihrer Wirkſamkeit und Einfachheit wegen) die Einrichtung der Maſchine nach J. S. Woolrich in Birmingham, bei der 16 ſechs Zoll lange Inductionsrollen zwiſchen den ſechs Zoll weit auseinander ſtehenden Schenkeln von 8 Magneten rotiren **).

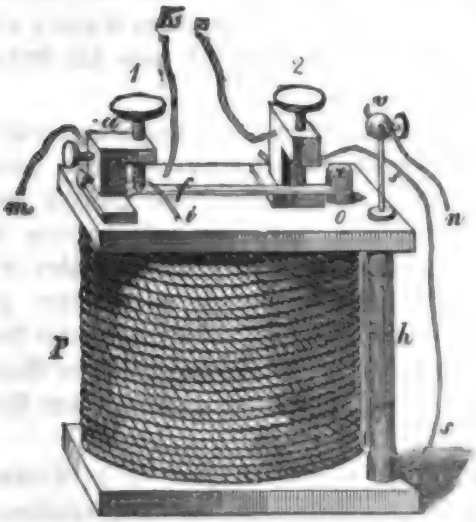
Einen Apparat, bei welchem ein Elektromagnet die Induction ausübt, hat Pohl ***) angegeben und beſonders zu chemiſchen Wirkungen empfohlen. Statt des Stahlmagnets wendet man hier einen hufförmig gebogenen Stab aus weichem Eiſen an, der, mit ſtarkem Kupferdraht umwunden, durch eine mäßig ſtarke einfache galvaniſche Kette magnetiſirt wird.

Sinſteden erhielt durch Iſolirung der magnetoelektriſchen Maſchine außer dem elektriſchen Strome auch freie Elektricität von geringer Spannung. Zu dieſem Behufe beſtand die Kurbel aus Glas, und die Magnetpole und Endflächen des Ankers waren mit Wachstaffet und Schellack überzogen, wie auch die auf den Polwalzen ſchleifenden Federn durch Glasſäulen iſolirt. Hierauf wurde die ganze Maſchine auf eine iſolirende Unterlage geſtellt und dem Strome ſtets einerlei Richtung ertheilt. Die mit dem poſitiven Ende des mehrere tauſend Fuß langen Inductordrahtes verbundene Feder zeigte dann freie poſitive, die andere aber, welche mit dem zweiten Ende des Inductors in Verbindung ſtand, freie negative Elektricität. Wurde die eine Feder mit dem Ende leitend verbunden, ſo ſtieg die elektriſche Spannung an der anderen Feder. Die ſtärkſte Spannung zeigte ſich aber unmittelbar nach der Unterbrechung der Schließung, indem hier der Inductionsſtrom durch einen Extraſtrom verſtärkt wurde.

Wir wiſſen bereits, daß die Wirkungen des Extra- oder Gegenſtromes in dem Schließungsdrahte einer galvaniſchen Kette, ſo wie auch diejenigen des Nebenſtromes in einer benachbarten Spirale ſehr bedeutend verſtärkt werden können, wenn man die Kette während einer gewiſſen Zeit möglichſt raſch öffnet und wieder ſchließt. Hierzu kann, wie ſchon erwähnt, das Blitzrad (ſ. d. Art.) oder auch eine Feile benutzt werden, die an dem einen Pole befeſtigt iſt, und an der man mit dem einen Ende des Schließungsdrahtes auf- und abfährt. Neeff ****) hat aber in Verbindung mit Wagner einen Inductionsapparat conſtruirt, welcher das wechſelnde Oeffnen und Schließen mit Hülfe des elektriſchen Stromes ſelbſt beſorgt. Die umſtehende Abbildung *****) zeigt dieſen Apparat nach ſeiner neueren Einrichtung. Die Inductionsſpirale P, aus 800 bis 1000 eines $^3/_4$ Millimeter dicken, mit Seide überſponnenen Kupferdrahtes beſtehend, iſt um einen ovalen, aufgeſchlitzten Cylinder von Eiſenblech gewickelt, und auf einem Fußbrete vertical befeſtigt. In der Höhlung des Cylinders befinden ſich 200 bis 300 überfirnißte Eiſendrähte von 1 Millim. Dicke, deren obere Enden einen eiſernen Anker

*) Pogg. Ann. Bd. LXXVI. S. 524.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXVI. S. 532.
***) Pogg. Ann. Bd. XXXIV. S. 185.
****) Pogg. Ann. Bd. XLVI. S. 104.
*****) Eiſenlohr's Phyſik. Stuttgart 1832. S. 643.

berühren, welcher unter dem oberen Bretchen bei o ſich in einen eiſernen Schraubenkopf endigt. Das eine Ende des Inductordrahtes iſt k, das andere Ende, welches bei i hervortritt, geht nach dem Metallſtücke a, dem gegenüber ſich ein gleiches mit Klemmſchrauben befindet. Der Draht s s führt zu einem am Boden des Glasröhrchens h, das mit Waſſer oder verdünnter Schwefelſäure gefüllt iſt, befeſtigten Metallplättchen, dem ein anderes Metallplättchen r gegenüber ſteht, welches durch Hinaufſchieben des Drahtes r v beliebig von ihm entfernt werden kann. Die kupferne Feder f e, die an dem Metallſtück a befeſtigt iſt, läßt ſich durch die Schraube 1 mehr oder weniger herabdrücken, bis das an ihr befeſtigte eiſerne Cylinderchen x dem Schraubenkopf o ſehr nahe ſteht. Auf dieſe Feder iſt bei e ein Platinblech gelöthet, mit dem eine Platinſpitze durch die Schraube 2 in Berührung gebracht werden kann. Verbindet man nun das Drahtende k mit dem poſitiven und z mit dem negativen Pol der Kette, und ſchließt man m und n durch den Körper, ſo geht der galvaniſche Strom von k durch die Windungen der Spirale, tritt bei i heraus nach a, fließt von hier durch f nach e und von e nach z zum negativen Pol der Kette. Während der Circulation dieſes Stromes werden der Eiſenblechcylinder und Anker magnetiſch, ſo daß das Eiſenſtück x angezogen wird. Die Feder f e geht alsdann herab und der Strom wird bei e unterbrochen. In dieſem Moment entſteht der Gegenſtrom, der von a durch m und durch den Körper nach n durch den Draht v r und durch die Waſſerſäule nach dem Drahte s s und von da nach z geht. Nach der Unterbrechung des primären Stromes aber, wo der Magnetismus in o verſchwindet, bewegt ſich die Feder vermöge ihrer Elaſticität wieder aufwärts, ſo daß die Platinſpitze wieder mit e in Berührung kommt und die Kette von Neuem geſchloſſen wird. Nun erſcheint auch wieder der Magnetismus in o und die Feder f e wird abermals herabgezogen ꝛc. So geräth f e in Schwingungen, welche das wechſelnde Oeffnen und Schließen der Kette raſch erneuern, und wodurch die phyſiologiſche Wirkung des Gegenſtromes ſo beträchtlich verſtärkt wird. Die Waſſerſäule in h, welche in Folge der Beweglichkeit des Drahtes v r ſich verlängern und verkürzen läßt, und durch welche der Gegenſtrom ſeinen Weg nehmen muß, dient als Moderator. Die Drähte a m und v n verſieht man gewöhnlich mit meſſingenen oder kupfernen Handhaben. Die Wirkung dieſes Apparates auf den menſchlichen Körper iſt ſehr beträchtlich. Die Schläge können ſich durch eine Reihe von Perſonen fortpflanzen, wenn dieſelben mit benetzten Händen ſich anfaſſen. Man kann auch an die Drähte a m und v n Metallgefäße befeſtigen, dieſe mit Waſſer füllen und in daſſelbe die Finger tauchen. Bringt man an m und n Metallplatten und taucht letztere in einen mit Waſſer gefüllten Behälter, ſo empfindet man die Wirkung des Gegenſtromes auf eine ſehr merkliche Weiſe,



wenn man die Hände oder andere Körpertheile zwiſchen die Platten in das Waſſer bringt.

In derſelben Weiſe kann man natürlich auch die Wirkungen des Nebenſtromes zur Wahrnehmung bringen, wenn man zwei lange, überſponnene Kupferdrähte neben einander zu Spiralen windet, und die Enden der einen Spirale mit dem vorbeſchriebenen Mechanismus in Verbindung ſetzt, während man die Enden der anderen durch den Körper oder dergleichen ſchließt.

Man kann auch beide Spiralen oder Drahtrollen ganz von einander trennen, die eine, die Schließungsrolle der galvaniſchen Kette, auf einem Bretchen horizontal befeſtigen und mit jener Vorrichtung zum abwechſelnden Oeffnen und Schließen der Kette in Verbindung bringen. Die Inductionsrolle dagegen iſt auf dem Bretchen im horizontalen Sinne beweglich, ſo daß ſie ganz über die Schließungsrolle geſchoben werden kann. Beide Rollen ſind ſo zu einander geſtellt, daß ihre Axen zuſammenfallen, und durch allmälige Annäherung der Inductionsrolle an die Schließungsrolle oder durch das Entfernen der einen Rolle von der anderen läßt ſich die Wirkung des Inductionsſtromes nach Belieben ſteigern oder ſchwächen.

Wenn in einem Leitungsdrahte poſitive und negative Ströme, d. h. Ströme von entgegengeſetzter Richtung, raſch wechſeln, ſo verwandelt ſich die Strombewegung der Elektricität gewiſſermaßen in eine Schwingung, und eine ſolche Schwingung läßt ſich mit einem Galvanometer, z. B. mit einer Sinus- oder Tangentenbouſſole nicht beobachten, weil hier die Wirkungen der auf einanderfolgenden entgegengeſetzten Schwingungen oder Stromwellen ſich aufheben. Wohl aber kann zu dieſem Behufe benutzt werden *) das von W. Weber angegebene Dynamometer (ſ. d. Art. Elektromagnetismus), in deſſen beiden Ringen die Richtung der Schwingung immer gleichzeitig wechſelt und die beobachtete Ablenkung dem Quadrate der Stromintenſität proportional iſt. Die Richtung des Stromes in beiden Ringen hat hier keinen Einfluß auf die Wirkung, weil beim Dynamometer von einem durch beide Ringe geleiteten negativen Strom eine Ablenkung nach derſelben Seite hervorgebracht wird, wie von einem durch beide Ringe geleiteten poſitiven Strom. Die Ablenkung des Dynamometers nach der einen oder anderen Seite iſt alſo nicht wie beim Galvanometer von der Richtung des durchgehenden Stromes, ſondern blos von der Verbindung der Drahtenden beider Ringe abhängig. Nun läßt ſich durch einen magnetiſirten Stahlſtab, der durch Anſchlagen zum Tönen gebracht werden kann, leicht eine elektriſche Schwingung in einem Leitungsdrahte hervorbringen, wenn ein Theil des letzteren als Inductorring das frei ſchwingende Ende des Klangſtabes ſo umgiebt, daß die Richtung der Schwingungen gegen die Ebene der Drahtwindungen ſenkrecht iſt. Alle Schwingungen des Klangſtabes nach der einen Seite induciren dann im Drahte poſitive Ströme, alle Schwingungen nach der anderen Seite negative Ströme, die ſo ſchnell auf einander folgen, wie die Schallſchwingungen ſelbſt. Sind die Drahtenden des Inductorringes mit den Drahtenden des Dynamometers verbunden, ſo beobachtet man eine Ablenkung des letzteren, die ſich genau meſſen läßt. Dieſe Ablenkung bleibt ſo lange unverändert, als die Intenſität der Schallſchwingungen unverändert bleibt,

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 192. 218.

nimmt aber ſchnell ab bei abnehmender Intenſität der letzteren, und beträgt, wenn die Amplitude der Schallſchwingungen auf die Hälfte herabgeſunken iſt, nur noch den vierten Theil. Das Dynamometer bietet alſo ein Hülfsmittel, die Intenſität der Schallſchwingungen zu meſſen.

Das Elektro-Dynamometer dient auch in Verbindung mit dem Galvanometer zur Beſtimmung der Dauer momentaner Ströme *). Die Intenſität eines fortdauernden conſtanten Stromes kann ſowohl mit dem Galvanometer als auch mit dem Dynamometer beſtimmt werden; bei einem Strome von momentaner Dauer reicht aber die Beobachtung eines von dieſen beiden Inſtrumenten nicht hin, weil die beobachtete Ablenkung nicht blos von der Intenſität des Stromes, ſondern auch von der Dauer deſſelben abhängt. Es iſt daher nothwendig, um die Intenſität eines Stromes zu erfahren, auch ſeine Dauer zu beſtimmen. Geht nun derſelbe momentane Strom durch beide Inſtrumente hindurch und wird die dadurch hervorgebrachte Ablenkung beider Inſtrumente beobachtet, ſo kann aus dieſen beiden Beobachtungen ſowohl die Dauer als auch die Intenſität des momentanen Stromes beſtimmt werden. Dieſe wechſelſeitige Ergänzung beider Inſtrumente gründet ſich darauf, daß die beobachtete Ablenkung beider von der Dauer des momentanen Stromes auf gleiche Weiſe abhängt, nämlich derſelben proportional iſt, dagegen aber von der Intenſität des Stromes nicht auf gleiche Weiſe abhängt, weil die Ablenkung des Galvanometers der Stromintenſität proportional iſt. s und σ bezeichne die Schwingungsdauer des Galvanometers und Dynamometers; ε' und ε' die Ablenkung, in welcher beide Inſtrumente verharren, wenn durch beide derſelbe fortdauernde conſtante Strom von der Intenſität i' geht; e und ε bezeichne dagegen die Elongationsweite, zu welcher beide Inſtrumente in Folge eines momentanen Stromes von der Dauer Θ und von der Intenſität i gelangen: ſo ergiebt ſich zur Beſtimmung der Dauer Θ folgende Gleichung:

$$\Theta = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{s^2}{\sigma} \cdot \frac{\varepsilon'}{e'^2} \cdot \frac{e^2}{\varepsilon},$$

zur Beſtimmung der Intenſität des Stromes i aber folgende Gleichung:

$$i = \frac{\sigma}{s} \cdot \frac{e'}{\varepsilon'} \cdot i' \cdot \frac{\varepsilon}{e},$$

wo s, σ, e', ε', i' e und ε durch Beobachtung beſtimmbare Größen ſind.

Weber betrachtet dieſe Verbindung des Dynamometers mit dem Galvanometer als von beſonderer Wichtigkeit in der Phyſiologie zur genaueren Erforſchung der Nervenerregung durch galvaniſche Ströme, da es ſich dabei zeige, daß zumal Sinnesnerven durch fortdauernde Ströme ſchnell abgeſtumpft werden, und daß daher zu ſolchen Verſuchen häufig momentane Ströme angewendet werden müſſen. Die beobachteten Sinneseindrücke hängen dann aber weniger von der Dauer des Stromes als von ſeiner Intenſität ab, und es iſt nothwendig, beide zu kennen.

W. Weber hat einen mathematiſchen Ausdruck aufgeſtellt **), welcher ſowohl die Grundgeſetze der Elektroſtatik und Elektrodynamik als auch das Grundgeſetz der Inductionserſcheinungen in ſich begreift.

---

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 215.

**) Abhandl. bei Begründ. der Königl. Sächſ. Geſellſch. d. Wiſſenſch. ꝛc. S. 303. Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 219.

Die Elektroſtatik betrachtet die Spannungsverhältniſſe der ruhenden, aber zur Bewegung ſtrebenden Elektricität. Bezeichnen nun E und E′ die Intenſitäten der beiden poſitiv oder negativ elektriſchen Zuſtände, oder ſind E und E′ zwei poſitive oder negative elektriſche Maſſen, ſo iſt das Grundprincip der Elektroſtatik, welches für die Wechſelwirkung zweier gleichnamig oder ungleichnamig elektriſirter Körper in irgend einer Entfernung R gilt, durch die Formel $\frac{EE'}{R^2}$ gegeben. Je nachdem dieſer Ausdruck poſitiv oder negativ iſt, findet Abſtoßung oder Anziehung ſtatt.

Hat man aber zwei Stromelemente von der Länge α und α' und der Intenſität i und i′, welche in der Entfernung r von einander ſo liegen, daß die Richtungen, nach denen ſich die poſitive Elektricität in beiden Elementen bewegt, mit einander den Winkel ε und mit der verbindenden Geraden die Winkel Θ und Θ' einſchließen, ſo wird die Größe der Kraft, mit welcher beide Stromelemente auf einander wechſelſeitig wirken, nach Ampère durch die Formel

$$-\frac{\alpha\alpha' ii'}{r^2}\left(\cos\varepsilon - \frac{3}{2}\cos\Theta\cos\Theta'\right)$$

beſtimmt. Es erfolgt Abſtoßung oder Anziehung, je nachdem dieſer Ausdruck poſitiv oder negativ iſt.

Der zuerſt aufgeſtellte Ausdruck bezieht ſich alſo auf zwei elektriſche Maſſen und deren Wechſelwirkung, der zweite auf zwei Stromelemente und deren Wechſelwirkung. Ein innerer Zuſammenhang zwiſchen beiden kann nur, ſagt Weber, dadurch erzielt werden, daß man auch in den Stromelementen auf die Betrachtung der elektriſchen Maſſen, welche in den Stromelementen ſich befinden, und ihre Wechſelwirkung zurückgeht. Nun ſind in zwei Stromelementen vier Wechſelwirkungen zu berückſichtigen, nämlich zwei abſtoßende zwiſchen den beiden poſitiven und zwiſchen den beiden negativen Maſſen in den Stromelementen, und zwei anziehende zwiſchen der poſitiven Maſſe in dem erſten und der negativen Maſſe in dem zweiten, und zwiſchen der negativen Maſſe in dem erſten und der poſitiven in dem zweiten Stromelemente. Soll aber die Summe dieſer Einwirkungen für alle Fälle, nämlich nicht allein für den Fall gegenſeitiger Ruhe, ſondern auch für jede Bewegung beider elektriſcher Maſſen gegen einander beſtimmt werden, ſo muß zu dem Werthe, welchen die Elektroſtatik für die Kraft giebt, mit welcher zwei elektriſche Maſſen auf einander wirken, noch eine von ihrer gegenſeitigen Bewegung abhängige Ergänzung hinzugefügt werden. Weber entwickelt nun zunächſt mit Zugrundelegung der Formel $-\frac{\alpha e \,.\, \alpha' e'}{r^2}\,.\,a^2 u u'\left(\cos\varepsilon - \frac{3}{2}\cos\Theta\cos\Theta'\right)$ vier Ausdrücke, die einzeln die vier Kräfte darſtellen, welche die vier elektriſchen Maſſen in beiden Stromelementen paarweiſe auf einander ausüben. In dieſer Formel bezeichnet αe die Maſſe der poſitiven Elektricität, welche in dem Stromelemente, deſſen Länge $= \alpha$, enthalten iſt, u die Geſchwindigkeit, mit welcher dieſe Maſſe ſich bewegt. Das Product eu drückt aber diejenige Maſſe poſitiver Elektricität aus, welche während der Zeiteinheit durch jeden Querſchnitt des Leitungsdrahtes geht, mit welcher die Stromintenſität i proportional zu ſetzen iſt, ſo daß, wenn a einen conſtanten Factor bezeichnet, $aeu = i$ iſt. Bezeichnet aber

αe die Masse der positiven Elektricität in dem Stromelemente α, und u ihre Geschwindigkeit, so ist $-\alpha e$ die Masse der negativen Elektricität in demselben Stromelemente, und $-u$ deren Geschwindigkeit. Eben so hat man bezüglich des zweiten Stromelements $\alpha' e' u' = i'$, und wenn $\alpha' e'$ die Masse der positiven Elektricität in diesem zweiten Stromelemente bezeichnet, so ist $-\alpha' e'$ die Masse der negativen Elektricität in demselben Elemente. Die obige Formel ergiebt sich aber, wenn man in der Ampère'schen Formel S. 48: $i = \alpha e u$ und $i' = \alpha e' u'$ setzt.

Weber findet nun für die Kraft, mit welcher eine beliebige positive oder negative Masse E auf eine beliebige andere positive oder negative Masse E' in der Entfernung R bei einer relativen Geschwindigkeit $\frac{dR}{dt}$ und Beschleunigung $\frac{d^2R}{dt^2}$, wirkt, den Ausdruck

$$-\frac{a^2}{16}\cdot\frac{EE'}{R^2}\left(\frac{dR^2}{dt^2}-2R\frac{d^2R}{dt^2}\right).$$

Während die von Ampère aufgestellte Formel sich blos auf den speciellen Fall bezieht, wo vier elektrische Massen zugleich gegeben sind, die sich unter den bei unveränderlichen und unverrückten Stromelementen vorausgesetzten Verhältnissen befinden, findet eine solche Beschränkung auf die angegebenen Verhältnisse bei diesem Ausdrucke nicht statt. Fügt man nun zu dieser Weber'schen Formel den Ausdruck $\frac{EE'}{R^2}$, welchen die Elektrostatik für die Wechselwirkung zweier elektrischer Massen E und E' in der Entfernung R giebt, so erhält man als allgemeinen Ausdruck zur vollständigen Bestimmung der Kraft, welche eine beliebige elektrische Masse E auf eine andere E ausübt, sie mögen ruhen oder sich bewegen:

$$\frac{EE'}{R^2}\left(1-\frac{a^2}{16}\cdot\frac{dR^2}{dt^2}+\frac{a^2}{8}\cdot R\frac{d^2R}{dt^2}\right).$$

Für ein bestimmtes der Zeitmessung zu Grunde gelegtes Maß, für welches $a = 4$ ist, verwandelt sich dieser Ausdruck in:

$$\frac{EE'}{R^2}\left(1-\frac{dR^2}{dt^2}+2R\frac{d^2R}{dt^2}\right).$$

Versteht man weiter unter reducirter relativer Geschwindigkeit der Massen E und E' diejenige relative Geschwindigkeit, welche diese Massen, denen in dem betrachteten Augenblicke die Entfernung R, die relative Geschwindigkeit $\frac{dR}{dt}$ und Beschleunigung $\frac{d^2R}{dt^2}$ zukommt, wenn die letztere constant wäre, in demjenigen Augenblicke haben würden, in welchem beide, dieser Voraussetzung gemäß, in einem Punkte zusammenträfen, und bezeichnet V diese reducirte relative Geschwindigkeit, so verwandelt sich der obige Ausdruck in folgenden: $\frac{EE'}{R^2}(1-V^2)$, was Weber in Worten folgendermaßen ausspricht:

„Die von der Bewegung herrührende Verminderung der Kraft, mit welcher zwei elektrische Massen auf einander wirken, ist dem Quadrate ihrer reducirten relativen Geschwindigkeit proportional."

Sind ein Stromelement und ein Element eines Stromleiters, jedoch ohne einen darin vorhandenen Strom gegeben, ſo weiß man, daß alsdann elektriſche Ströme erregt oder inducirt werden, und man faßt die Erſcheinungen dieſer inducirten Ströme unter dem Namen Volta-Induction zuſammen.

Weber weiſt darauf hin, daß keine von allen dieſen Erſcheinungen ſich weder aus dem Princip der Elektroſtatik noch aus dem von Ampère aufgeſtellten Princip der Elektrodynamik voraus beſtimmen laſſe, und zeigt dann*), daß aus dem neuen, von ihm aufgeſtellten Grundprincipe auch die Geſetze zur Vorausbeſtimmung aller Erſcheinungen der Volta-Induction abgeleitet werden können.

Bezeichnen nun α und α' die Längen zweier Elemente, ſo hat man in dieſen beiden Elementen die elektriſchen Maſſen $+ \alpha e$, $- \alpha e$, $+ \alpha' e'$, $- \alpha' e'$. Die erſte dieſer Maſſen bewegt ſich mit einer gewiſſen Geſchwindigkeit u in der Richtung des ruhenden Elements α, welche mit der von α nach α' gezogenen Geraden den Winkel Θ macht. Die zweite Maſſe $- \alpha e$ bewegt ſich in der nämlichen Richtung mit derſelben Geſchwindigkeit, aber rückwärts. Die dritte Maſſe $+ \alpha' e'$ bewegt ſich mit einer gewiſſen Geſchwindigkeit u' in der Richtung des Elements α', welche mit der von α nach α' gezogenen und verlängerten Geraden den Winkel Θ' macht. Außerdem theilt aber dieſe Maſſe die Bewegung des Elements α' ſelbſt, welche mit der Geſchwindigkeit v in einer Richtung geſchieht, die mit der von α nach α' gezogenen, verlängerten Geraden den Winkel η macht, und in einer durch dieſe Gerade gelegten Ebene enthalten iſt, welche mit der durch dieſelbe Gerade parallel mit dem Elemente α gelegten Ebene den Winkel γ einſchließt. Die vierte Maſſe $- \alpha' e'$ bewegt ſich, den Beſtimmungen eines galvaniſchen Stromes gemäß, in der Richtung des Elements α' mit derſelben Geſchwindigkeit, wie das vorige, aber rückwärts. Legt man endlich durch die von α nach α' gezogene Gerade zwei Ebenen, die eine mit α, die andere mit α' parallel, ſo bezeichne ω' den von dieſen beiden Ebenen eingeſchloſſenen Winkel.

Werden nun außer den Bewegungen der elektriſchen Maſſen in ihren Leitern auch die ihnen mit ihren Leitern gemeinſchaftlichen Bewegungen in Rechnung gebracht; ſo ergiebt ſich für die Summe der Kräfte, welche auf die poſitive und negative Elektricität im Element α' wirken, $- \frac{\alpha\alpha'}{r^2} . aeu . ae'u' (\sin\Theta \sin\Theta' \cos\omega - {}^1/_2 \cos\Theta \cos\Theta' \cos\eta)$.

Wenn man aber hierin mit ε den Winkel bezeichnet, welchen die Richtungen der beiden Elemente α und α' mit einander machen, und i und i' an die Stelle von aeu u. $ae'u'$ (S. 48 u. 49) ſetzt, ſo erſcheint nach einer leichten Umwandlung $- \frac{\alpha\alpha' ii'}{r^2} (\cos\varepsilon - {}^3/_2 \cos\Theta \cos\Theta')$, alſo der nämliche Ampère'ſche Ausdruck, welcher für unveränderliche und unverrückte Stromelemente gilt, d. h. die auf das ganze Element α' wirkende elektrodynamiſche Kraft wird bei bewegten Leitern und veränderlichen Stromintenſitäten eben ſo beſtimmt, wie wenn die Stromintenſitäten unveränderlich und die Leiter unverrückt verharrten.

Die Differenz der Kräfte aber, welche auf die poſitive und negative

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 231

Elektricität im Element α' inducirend wirken, wodurch dieſe beiden Elektricitäten von einander geſchieden und im Leiter nach entgegengeſetzten Seiten bewegt werden, erhält ihren Ausdruck in der Formel $-\frac{\alpha\alpha'}{r^2} . a e u . a e' v (\sin\Theta \sin\eta \cos\gamma - \frac{1}{2}\cos\Theta\cos\eta) - \frac{1}{2}\frac{\alpha\alpha'}{r^2} a^2 e e' \cos\Theta . \frac{du}{dt}$, oder weil $a e u = i$ und $a e . du = di$ iſt, $= -\frac{\alpha\alpha'}{r^2} i (\sin\Theta \sin\eta \cos\gamma - \frac{1}{2}\cos\Theta\cos\eta) . a e' v - \frac{1}{2}\frac{\alpha\alpha'}{r} . a e' \cos\Theta . \frac{di}{dt}$.

Die hierdurch beſtimmte Kraft ſucht nun die poſitive und negative Elektricität im inducirten Elemente α' nach der Richtung der Geraden r zu ſcheiden. In dieſer Richtung kann aber bei einem linearen Leiter die Scheidung nicht erfolgen, ſondern nur in der Richtung des inducirten linearen Elements α' ſelbſt, die mit der verlängerten Geraden r den Winkel Θ' macht. Zerlegt man alſo jene ganze Scheidungskraft nach dieſer Richtung, d. h. multiplicirt man obigen Werth mit $\cos\Theta'$, ſo erhält man die Kraft, welche die wirkliche Scheidung bewirkt, $= -\frac{\alpha\alpha'}{r^2} i (\sin\Theta \sin\eta \cos\gamma - \frac{1}{2}\cos\Theta\cos\eta) . a e' v \cos\Theta' - \frac{1}{2}\frac{\alpha\alpha'}{r} a e' . \cos\Theta\cos\Theta' . \frac{di}{dt}$.

Dividirt man dieſen Ausdruck durch e', ſo giebt derſelbe die vom inducirenden Elemente α auf das inducirte Element α' ausgeübte elektromotoriſche Kraft im gewöhnlichen Sinne, nämlich $-\frac{\alpha\alpha}{r^2} i (\sin\Theta \sin\eta \cos\gamma - \frac{1}{2}\cos\Theta\cos\eta) . a v \cos\Theta' - \frac{1}{2}\frac{\alpha\alpha'}{r} a \cos\Theta\cos\Theta' . \frac{di}{dt}$.

Dies iſt nun das allgemeine Geſetz der Volta-Induction, aus dem ſich die beſonderen Fälle derſelben ableiten laſſen.

Findet keine Aenderung der Stromintenſität ſtatt, wo dann $\frac{di}{dt} = 0$ iſt, ſo ſtellt ſich das Geſetz der Induction eines conſtanten Stromelements auf das dagegen bewegte Element eines Leiters heraus. Man hat dann dafür die elektromotoriſche Kraft: $= -\frac{\alpha\alpha'}{r^2} i (\sin\Theta \sin\eta \cos\gamma - \frac{1}{2}\cos\Theta\cos\eta) . a v \cos\Theta'$, oder, wenn ε der Winkel iſt, welchen die Richtung des inducirenden Stromelements mit der Richtung, nach welcher das inducirte Element ſelbſt bewegt wird, einſchließt, $-\frac{\alpha\alpha'}{r^2} i (\cos\varepsilon - \frac{3}{2}\cos\Theta\cos\eta) . a v \cos\Theta'$.

Je nachdem dieſer Ausdruck einen poſitiven oder negativen Werth hat, iſt der inducirte Strom poſitiv oder negativ, wo unter poſitivem Strome ein ſolcher verſtanden wird, deſſen poſitive Elektricität in derjenigen Richtung des Elements

α' ſich bewegt, welche mit der verlängerten Geraden r den Winkel Θ' einſchließt.

Sind die Elemente α und α' einander parallel, und iſt die Richtung, nach welcher das letztere mit der Geſchwindigkeit v bewegt wird, in der Ebene jener beiden Parallelen enthalten und auf deren Richtung ſenkrecht, ſo iſt, wenn α' durch ſeine Bewegung von α ſich entfernt, $\Theta = \Theta'$, $\cos \eta = \sin \Theta$, $\cos \varepsilon = 0$, alſo die elektromotoriſche Kraft $= + \frac{3}{2} \frac{\alpha \alpha'}{r^2} i \sin \Theta \cos \Theta^2 . a v$. Dieſer Werth iſt immer poſitiv, weil $\Theta < 180^0$ zu nehmen iſt, und dieſer poſitive Werth bezeichnet hier übereinſtimmend mit der Erfahrung einen inducirten Strom von gleicher Richtung wie der inducirende.

Unter gleichen Verhältniſſen, nur mit dem Unterſchiede, daß das Element α' durch ſeine Bewegung dem Elemente α genähert wird, ergiebt ſich: $\Theta = \Theta'$, $\cos \eta = - \sin \Theta$, $\cos \varepsilon = 0$, folglich die elektromotoriſche Kraft $= - \frac{3}{2} \frac{\alpha \alpha'}{r^2} i \sin \Theta \cos \Theta^2 . a v$. Der negative Werth dieſer Größe bezeichnet einen inducirten Strom von entgegengeſetzter Richtung, wie der inducirende.

Die Volta-Induction kann auf zwei verſchiedene Arten, nämlich durch conſtante und veränderliche Ströme bewirkt werden. Bei der Induction durch erſtgenannte Ströme wird entweder der Leiter, durch welchen der Strom geht, gegen denjenigen Leiter bewegt, in welchem der Strom inducirt werden ſoll, oder umgekehrt. Durch veränderliche Ströme kann inducirt werden, auch wenn der Leiter, durch welchen der veränderliche Strom geht, gegen denjenigen Leiter, in welchem der Strom inducirt werden ſoll, unverrückt bleibt.

Aus dem oben aufgeſtellten allgemeinen Geſetze der Volta-Induction ergab ſich das beſondere Geſetz für die erſtere Art von Induction durch die Bedingungsgleichung $\frac{di}{dt} = 0$, für die letztere Art von Volta-Induction ergiebt ſich daraus das beſondere Geſetz durch die Bedingungsgleichung $v = 0$, oder das Geſetz der Induction eines veränderlichen Stromes auf das dagegen nicht bewegte Element eines Leiters, oder der Werth der elektromotoriſchen Kraft $= - \frac{1}{2} \frac{\alpha \alpha'}{r} s \cos \Theta \cos \Theta' . \frac{di}{dt}$, folglich die Induction für einen Zeitraum, in welchem die Intenſität des inducirenden Stromes um i zunimmt, während r, Θ und Θ' unverändert bleiben, $= - \frac{s}{2} . \frac{\alpha \alpha'}{r} i \cos \Theta \cos \Theta'$.

Der poſitive Werth dieſes Ausdrucks bezeichnet einen im Elemente α' inducirten Strom nach der Richtung von α', welche mit der verlängerten Geraden r den Winkel Θ' macht, der negative Werth einen inducirten Strom von der entgegengeſetzten Richtung.

Sind die beiden Elemente α und α' einander parallel, und iſt $\Theta = \Theta'$, ſo iſt der obige Ausdruck für wachſende Stromintenſität, oder für einen poſitiven Werth von i, negativ, d. h. bei wachſender Stromintenſität in α wird in α' ein Strom in entgegengeſetzter Richtung erregt, als der inducirende Strom hat. Das

Umgekehrte findet bei abnehmender Stromintenſität ſtatt. Und beides, wie auch die Proportionalität der Induction mit der Intenſitätsänderung i des inducirenden Stromes iſt der Erfahrung gemäß.

Geht man endlich wieder auf den allgemeinen Fall zurück, wo zugleich die Intenſität des inducirenden Stromes veränderlich iſt und auch die beiden Leiter gegen einander bewegt werden, ſo ergiebt ſich die elektromotoriſche Kraft eines variablen Stromelements auf das bewegte Element eines Leiters einfach als die Summe der elektromotoriſchen Kräfte, welche ſtattfinden würde, wenn das Element des Leiters in dem betrachteten Augenblicke nicht bewegt würde, und wenn zweitens das Element des Leiters zwar bewegt würde, aber die Stromintenſität des inducirenden Elements in dem betrachteten Augenblicke ſich nicht änderte.

Zum Schluſſe dieſer Betrachtungen über die Volta-Induction ſei noch bemerkt, daß Fechner *) zuerſt die Erſcheinungen derſelben unter das Ampère'ſche Geſetz zu ſubſumiren ſuchte. Hierauf ſtellte Neumann **), anknüpfend an eine Arbeit von Lenz ***), ein allgemeines Geſetz der Volta-Induction auf, bis Weber in neuerer Zeit die Sache auf die angegebene Weiſe ganz allgemein auffaßte und auch die elektroſtatiſchen Erſcheinungen dabei in Betracht zog. Zur Beſtimmung der Conſtanten endlich, von welcher die Intenſität inducirter elektriſcher Ströme abhängt, hat Kirchhoff ****) ein Verfahren mitgetheilt.

Durch das Annähern eines Magnets an einen geſchloſſenen Leiter der Elektricität wird alſo im letzteren ein Strom erregt, der aber nur von kurzer Dauer iſt, ſelbſt dann, wenn der Magnet in der Nähe des Leiters, jedoch ohne ſich zu bewegen, verweilt. Dagegen tritt ein dem vorigen entgegengeſetzter Strom auf, wenn der Magnet vom Leiter entfernt wird. Und denſelben Erfolg, wie das Annähern und Entfernen eines Magnets, hat das Entſtehen und Verſchwinden des Magnetismus in der Nachbarſchaft eines ſolchen Leiters; — ein Vorgang, der mit dem vorhergehenden im Grunde auf Eins hinaus kommt. Nun iſt es aber ſehr wahrſcheinlich, daß der Magnet, ſo lange der Leiter ſich in ſeiner Wirkungsſphäre befindet, auf dieſen fortdauernd (im Weſentlichen wenigſtens) denſelben Einfluß ausübt, und das Verſchwinden des Magnetismus allein kann bezüglich des Leiters keinen Erfolg haben, wenn nicht während der Dauer des Magnetismus im Leiter etwas geſchieht, was beim Aufhören des Magnetismus eine Veränderung erleidet. Im Hinblick auf die Grunderſcheinungen der Inductionselektricität kann man nun den Schluß ziehen, daß der angenäherte Magnet durch ſeine Einwirkung auf den Leiter das elektriſche Gleichgewicht in demſelben aufhebt und dadurch eine Bewegung der Elektricität, d. h. einen elektriſchen Strom nach einer beſtimmten Richtung veranlaßt. Dieſer Strom verſchwindet, ſobald die Elemente des Elektricums in einem neuen Gleichgewichtszuſtande zur Ruhe gekommen ſind. Dieſer neue Gleichgewichtszuſtand iſt aber ein dem natürlichen Zuſtande des Leiters

---

*) Pogg. Ann. Bd. LXIV. S. 337.
**) Pogg. Ann. Bd. LXVII. S. 31. Abhandl. der Berl. Akad. d. Wiſſenſch. 1845.
***) Pogg. Ann. Bd. XXXI. S. 483.
****) Pogg. Ann. Bd. LXXVI. S. 412.

fremdartiger, und erhält ſich nur ſo lange, als der Einfluß des ruhenden Magnetismus andauert. Wird der magnetiſche Einfluß entfernt, ſo kehren die Elemente des Elektricums in die anfängliche Gleichgewichtslage zurück, was die Entſtehung eines Stromes zur Folge hat, der ſeiner Richtung nach dem vorigen entgegengeſetzt ſein muß. Dieſelben Vorgänge finden ſtatt bei der Annäherung eines von Elektricität durchſtrömten Leiters an einen anderen geſchloſſenen Leiter, wo in dem letzteren durch die Wirkung des erſteren ebenfalls ein Strom entſteht, der ſich in den entgegengeſetzten verwandelt, wenn der eine Leiter vom anderen entfernt wird. So weit erſcheint die Sache einfach und naturgemäß.

Betrachtet man Elektricität und Magnetismus als verſchiedenartige Naturpotenzen, ſo geht dem erſten Anſcheine nach die Einheit der Erklärung für beide Arten der Induction, nämlich der magnetoelektriſchen und Volta-Induction verloren. Eine ſolche Einheit zu behaupten, iſt aber gerade nicht die Aufgabe der Naturforſchung, welche ſich vorzugsweiſe an die Thatſachen und an die aus denſelben gezogenen Schlüſſe hält. Auch weiß man, daß das elektriſche Gleichgewicht durch die verſchiedenartigſten Urſachen geſtört werden kann. Sieht man den Grund des Magnetismus, der Ampère'ſchen Theorie gemäß (ſ. d. Art. Elektromagnetismus), in elektriſchen Strömen, welche die Maſſentheilchen des Eiſens umkreiſen, ſo hat man ein gemeinſames Erklärungsprincip für beide Arten der Induction; allein ein ſolches iſt auch dann vorhanden, wenn man annimmt, daß die Volta-Induction nicht durch den primären elektriſchen Strom ſelbſt, ſondern vielmehr durch den Magnetismus bewirkt werde, welchen der genannte Strom in dem Schließungsbogen der elektriſchen Kette erregt. Während die entgegengeſetzt elektriſchen Zuſtände innerhalb des Schließungsdrahtes ſich ausgleichen und darum weniger nach Außen wirken, entſteht in demſelben eine von dem elektriſchen Strome ſelbſt unterſchiedene magnetiſche Polarität mit freier Wirkſamkeit nach Außen, durch welche in einem benachbarten Leiter das elektriſche Gleichgewicht aufgehoben wird. Und hierbei ſei noch bemerkt, daß die von Weber aufgeſtellte Formel für die Volta-Induction, unbeſchadet ihres ſonſtigen Werthes, keinen Beweis liefert, daß dieſe Induction lediglich eine Folge der Wechſelwirkung elektriſcher Maſſen ſei. Dagegen ſteht das inducirende Princip wohl ohne Zweifel in einer beſtimmten Beziehung zu den in jener Formel vorkommenden Größen und es wird darum auch, hinſichtlich ſeiner Wirkung, in derſelben einen Ausdruck finden können. Uebrigens fehlt es auch im Gebiete der Inductionselektricität nicht an Erſcheinungen, welche darauf hindeuten, daß Elektricität und Magnetismus verſchiedene Naturpotenzen ſind, obſchon dieſelben meiſt einander begleiten. Dove hat hierauf bei Gelegenheit ſeiner Unterſuchungen über die durch Magnetiſiren des Eiſens vermittelſt Reibungselektricität *) inducirten Ströme aufmerkſam gemacht.

Ein von Elektricität durchfloſſener Leiter erzeugt in einem neben ihm befindlichen Leiter einen ſchnell vorübergehenden elektriſchen Strom, nur wenn der Strom in ihm beginnt und wenn er aufhört, nicht aber ſo lange derſelbe fortdauert. Dagegen erregt er während ſeines ganzen Beſtehens in einem neben ihm befindlichen Eiſen Magnetismus, der ſich in einer merkbaren Zeit zum Maximum ſteigert.

*) Pogg. Ann. Bd. LIV. S. 305.

Dove ſagt nun: die von Ampère zur Erläuterung dieſes Magnetismus angenommenen, die Eiſentheilchen umkreiſenden elektriſchen Ströme unterſcheiden ſich alſo von allen bekannten elektriſchen Strömen dadurch, daß ſie während der Dauer eines elektriſchen Stromes ſich bilden, d. h. unter Umſtänden eintreten, wo ſich nie andere elektriſche Ströme bilden. Die Verſuche zeigen aber, daß die im Eiſen bei dem Magnetiſiren deſſelben nachweisbaren elektriſchen Ströme entgegengeſetzt wirken dem zugleich hervortretenden Magnetismus, ja daß ſie deſſen Wirkung nicht nur vollkommen neutraliſiren, ſondern ſogar ihre entgegengeſetzte Wirkung überwiegend geltend machen können. Da es nun nicht paſſend ſcheint, zwei Naturthätigkeiten, von denen die eine unter Umſtänden zu wirken beginnt, bei welchen die andere nie hervortritt, und welche, wenn ſie zugleich in demſelben Körper thätig ſind, einander ſo entgegenwirken, daß bald die eine, bald die andere überwiegt, als identiſche durch denſelben Namen zu bezeichnen, ſo ſcheint es zweckmäßig, Magnetismus und Elektricität als zwei unterſchiedene Naturkräfte anzuerkennen. Und weiter *) fährt er fort: „Die Geſammtheit der hier betrachteten Erſcheinungen zeigt, daß der Unterſchied zwiſchen der inducirenden Wirkung einer Eiſenmaſſe und eines Drahtbündels nicht durch die Annahme erklärt werden kann, daß die elektriſchen Ströme, welche den Magnetismus im Eiſen erzeugen, anders beſchaffen ſind als die, welche während der Dauer des primären Stromes dieſen Magnetismus erhalten. Denn dieſe Annahme führt wohl zu einer Schwächung, aber nie zu einer Umkehrung der Erſcheinung, höchſtens zu einer Wirkungsloſigkeit, ſelbſt unter der äußerſten Vorausſetzung, daß man ſich die entſtehenden Ströme anfangs parallel der Oberfläche des Eiſens, ſpäter normal auf derſelben denke. Auch erläutert ſie nicht, daß eine inducirende Wirkung geſchwächt werde, die andere verſtärkt. Man muß vielmehr einen Schritt weiter gehen, und die magnetiſche Polariſirung als ein von den im Eiſen erregten elektriſchen Strömen nicht nur unabhängiges, ſondern entgegengeſetzt wirkendes Agens anerkennen.“ Die Erklärung der betreffenden Phänomene iſt dann nach Dove die S. 29 dieſes Artikels gegebene. Jacobi betrachtete ſchon früher **) die Inductionserſcheinungen beim Oeffnen und Schließen der Kette als beſondere Formen der magnetoelektriſchen Induction, da der galvaniſche Schließungsdraht wohl ganz ſo, wie jeder andere geſchloſſene Leiter, fähig ſei, magnetoelektriſch erregt zu werden.

Man erkennt nun leicht, daß die Theorie der Inductionselektricität in genauem Zuſammenhange ſteht mit der Theorie der übrigen elektriſchen und magnetiſchen Erſcheinungen, und deshalb müſſen wir hier, nachdem wir die Hauptfragepunkte hervorgehoben haben, auf die Artikel Elektricität, Elektromagnetismus, Galvanismus und Magnetismus verweiſen.

Inflexion oder Diffraction oder Beugung. Wenn die in einem Medium fortſchreitenden und ſich ausbreitenden Wellen (vergl. Art. Wellen) auf eine Oeffnung in einer feſten Wand treffen, welche in einen zweiten mit demſelben Medium erfüllten Raum führt, ſo verbreiten ſich die durch die Oeffnung gehenden Wellentheile nicht blos in dem Raume hinter derſelben, welcher durch die Fortſchreitungsrichtung der Wellen und durch die Größe der Oeffnung bedingt wird,

*) Pogg. Ann. Bd. LIV. S. 323.
**) Pogg. Ann. Bd. XLV. S. 132.

ſondern auch außerhalb dieſes Raumes, ſo als ob die einzelnen Stellen des Randes der Oeffnung die Ausgangspunkte neuer Wellenſyſteme wären. Die Wellen ſchreiten alſo hinter der Oeffnung in einem erweiterten Raume fort, und außerdem zeigen ſich, indem die neu entſtandenen Wellenſyſteme ſich durchkreuzen, Interferenzphänomene (vergl. Art. Interferenz). Dies iſt im Allgemeinen die Erſcheinung, welche man Beugung der Wellen genannt hat.

Wegen der Beugungserſcheinungen auf der Oberfläche tropfbarflüſſiger Medien verweiſen wir auf Art. Wellen. In dem vorliegenden Artikel werden wir namentlich die Inflexion des Lichtes und die noch weniger unterſuchte des Schalles und der Wärme behandeln. Da übrigens bei der Inflexion die Interferenzphänomene einen weſentlichen Theil ausmachen, ſo ſei gleich an dieſer Stelle auf Art. Interferenz als eine Ergänzung des vorliegenden verwieſen.

A. Inflexion des Schalles.

Daß bei dem Durchgange der Schallwellen durch eine Oeffnung in einer dünnen Scheidewand Beugungserſcheinungen, ähnlich wie bei dem Lichte, eintreten, daß namentlich eine Abwechſelung von Maximis und Minimis der Schallſtärke an verſchiedenen Punkten ſich zeigen müſſen, darauf hat beſonders Cauchy *) aufmerkſam gemacht.

Theoretiſch läßt ſich nachweiſen, daß bei einer ſehr entfernten Tonquelle, wenn die Oeffnung in einer verticalen Spalte beſteht, die Punkte der größten und kleinſten Schallſtärke in jeder Horizontalebene ſehr nahe auf verſchiedenen Parabeln liegen, welche die Oberfläche der Scheidewand berühren und deren Parameter eine arithmetiſche Reihe bilden und der Wellenlänge proportional ſind.

Da die Parameter dieſer Parabeln bei den Schallwellen bis zur Größe von einigen Metern ſteigen können, während ſie bei dem Lichte wegen der geringen Wellenlänge ſehr klein bleiben, ſo folgt hieraus, daß der aus einer Oeffnung tretende Schall ſich ſehr viel ſtärker ſeitwärts ausbreitet, als das Licht. Daß die ſeitliche Ausbreitung einer Wellenbewegung um ſo ſchneller abnimmt, je größer die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit iſt, daß alſo ein bedeutender Unterſchied in dieſer Beziehung zwiſchen dem Lichte und dem Schalle ſtattfinden müſſe, hat auch Poiſſon gefunden **).

Weil die höheren Töne eine kleinere Wellenlänge haben, als die tieferen, ſo iſt bei ihnen die ſeitliche Ausbreitung nothwendig ſchwächer, ſo daß, wenn verſchiedene Töne von gleicher Stärke, aber ungleicher Höhe, durch eine Oeffnung treten, die höheren ſchneller verſchwinden werden, wenn man ſich parallel der Ebene der Wand von der Oeffnung entfernt. Wenn die Schallſtärke dem Quadrat der Amplitude proportional gerechnet wird, ſo wird die Schallſtärke der gebeugten Wellen, wenn man in einer der Wand parallelen Ebene ſehr weit von der Oeffnung weggeht, der Wellenlänge nahe proportional ſein.

---

*) Compt. rend. T. XV. p. 739. Vergl. Seebeck in Dove's Repertor. der Phyſik. Bd. VIII. S. 84 b.

**) Ann. de Chim. et de Phys. T. XXII. p. 225.

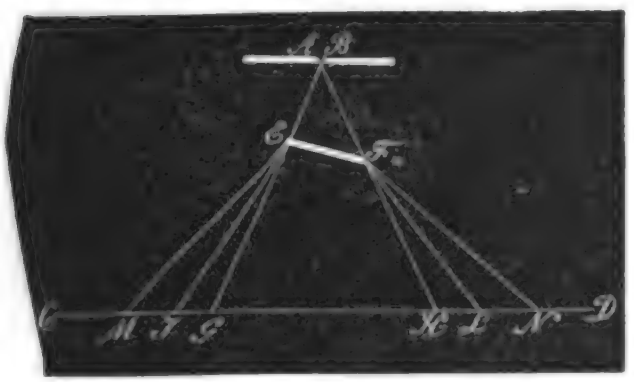
Seebeck theilt mit, daß Arago von Young die Verſicherung erhalten habe, daß die Erfahrung dieſe Folgerungen der Theorie beſtätige. Seebeck ſelbſt führt eine Beobachtung an in Bezug darauf, daß höhere Töne bei der Beugung ſeitwärts ſchneller an Stärke abnehmen, als tiefere. Wenn man nämlich ein Ohr ſchließt, ſo hört man natürlich ſtärker, wenn das offene Ohr der Schallquelle zugewendet iſt, als wenn es abgewendet wird. Es iſt ihm nun vorgekommen, als werde das Zirpen der Grille auffallend ſchwach gehört, wenn das Ohr ſich in der letzteren Stellung befindet, ſo daß alſo dieſer ſehr hohe Ton beſonders auffallend abnimmt, wenn die Wellen um den Kopf des Beobachters umgebogen werden müſſen, um in das offene Ohr zu gelangen.

Ueber Seebeck's Verſuche, welche zu dem Reſultate führten, daß bei der Beugung des Schalles zugleich mit der Richtung der Fortpflanzung auch die der Schwingung umgebogen wird, iſt zu vergleichen Art. Interferenz gegen das Ende des Abſchnittes von der Interferenz des Schalles.

B. Inflexion des Lichtes.

Die erſten Beobachtungen über die Inflexion des Lichtes finden wir bei Grimaldi, Profeſſor der Mathematik zu Bologna *). Er bezeichnet die Erſcheinung als Diffraction, mit welchem Worte er eine beſondere, bedingende Bewegung des Lichtes charakteriſiren wollte, die er als eine wellenförmige bereits erkannt hatte. Seine auch heute noch intereſſanten Verſuche waren folgende.

Durch eine ſehr kleine Oeffnung AB (ſ. beiſtehende Figur) ließ er bei heiterem Himmel Sonnenlicht in ein dunkeles Zimmer fallen, brachte in den Lichtkegel einen undurchſichtigen Körper EF und fing den Schatten deſſelben und das dieſen einſchließende Licht auf dem Fußboden auf, welchen er mit einer weißen Fläche bedeckt hatte. Hierbei fand er, daß der Schatten GH nicht nur auf beiden Seiten umgeben war von einem Halbſchatten GJ und HL, ſondern daß der ganze Schatten überhaupt bedeutend größer war, als er bei geradliniger Fortpflanzung des Lichtes durch die Oeffnung hätte ſein ſollen. Es erſtreckte ſich derſelbe bis M und N.



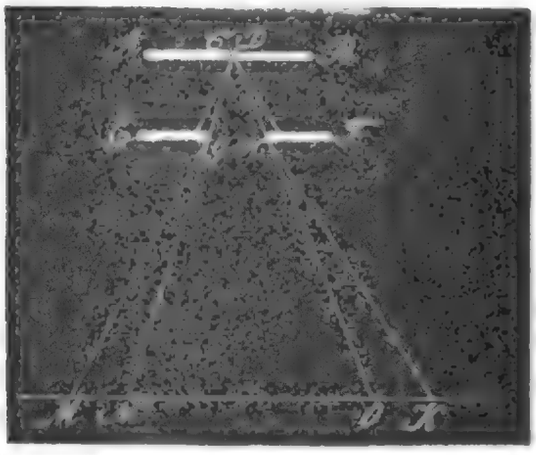
Außerdem bemerkte er auf dem den Schatten umgebenden hellen Theile MC und ND gefärbte Streifen, die in der Mitte hell, nach Innen aber, alſo nach M und N zu, blau und nach Außen, alſo nach C und D zu, roth waren. Die M und N zunächſt liegenden Streifen waren die breiteſten, der zweite war ſchmäler und noch mehr der dritte. Die Intenſität des Lichtes und der Farben nahm um

*) Physico-mathesis de lumine, coloribus et iride. Bononiae 1665.

ſo mehr ab, je weiter der Streifen von dem Schatten entfernt war. Die einzelnen Streifen ſelbſt wurden um ſo breiter, je weiter die auffangende Ebene von dem Schatten werfenden Körper abſtand, und je ſchräger das einfallende Licht auf dieſelbe fiel. Die Richtung der Streifen war mit dem Schatten des dunklen Körpers parallel und der Grenzlinie des Schattens gleich geſtaltet.

Bei ſehr intenſivem Sonnenlichte beobachtete Grimaldi die farbigen Streifen in dem Schatten ſelbſt, aber nur dann, wenn der ſchattenwerfende Körper EF zwar lang, aber nicht ſehr breit war. Bei ſehr geringer Breite zeigte ſich jeder Seits ein Streifen; nahm die Breite zu, ſo bildeten ſich je zwei Streifen, und bei noch größerer, wobei der Körper EF aber immer noch auf beiden Seiten erleuchtet war, traten je drei Streifen auf. Die Anzahl der Streifen änderte ſich übrigens auch bei demſelben Körper, wozu er Platten benutzte, mit der Entfernung, in welcher ſie aufgefangen wurden. Je mehr Streifen ſich bildeten, deſto ſchmaler waren ſie. Wo im Schatten ein Winkel war, zeigten ſich außer den eben angeführten Streifen noch kürzere, glänzende Streifen, die Grimaldi mit nach beiden Seiten überhängenden Federbüſchen vergleicht.

Der Gegenverſuch zu dem vorſtehenden wurde ſo angeſtellt, daß durch eine ſehr kleine Oeffnung CD eines Fenſterladens AB (ſ. beiſtehende Figur) in das völlig dunkle Zimmer Sonnenlicht gelaſſen und in den Lichtkegel ſenkrecht zu der Axe deſſelben eine Platte EF mit einer Oeffnung GH gebracht wurde, welche kleiner war, als der Durchſchnitt des Lichtkegels. Der durch dieſe zweite Oeffnung durchgegangene Lichtkegel wurde durch eine weiße Ebene aufgefangen, welche ſenkrecht zur Axe des Lichtkegels ſtand, und hier zeigte ſich der erleuchtete Theil der Ebene nicht von der Größe, welche der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes entſprach, alſo nicht von der Größe NO, ſondern größer und reichte bis M und K.



Ergab ſich aus dieſen Verſuchen zwar entſchieden, daß die Erſcheinung weder in Reflexion noch in Refraction ihren Grund haben konnte, ſo war doch noch keine Veranlaſſung zur Annahme einer wellenförmigen Bewegung des Lichtes gegeben. Hierauf kam Grimaldi vielmehr durch folgenden Verſuch, welcher als der erſte Interferenzverſuch angeſehen werden kann.

Er leitete durch zwei kleine Oeffnungen Sonnenſtrahlen in ein dunkles Zimmer ſo, daß die Grundflächen der Lichtkegel, welche er durch eine weiße Ebene auffing, zum Theil in einander fielen. Das beiden Grundflächen gemeinſame Segment zeigte ſich hier zwar heller, als der übrige Theil derſelben, die Grenze dieſes Segmentes wurde aber dunkler gefunden, als ſolche Stellen, die eben ſo weit von dem Mittelpunkte der einen oder anderen Grundfläche der Lichtkegel abſtanden. Wurde die eine Oeffnung geſchloſſen, ſo zeigten ſich alle in gleicher Entfernung vom Mittelpunkte der einen hellen Grundfläche liegenden Stellen gleich ſtark erleuchtet, und ſomit war entſchieden, daß die Wirkungen zweier zuſammentreffenden Lichtbündel ſich zuweilen vernichten und Dunkelheit bewirken können.

Newton wiederholte die Verſuche über die Streifen im Schatten ſchmaler Körper und erwarb ſich dadurch namentlich ein Verdienſt, daß er mit einfachem farbigen Lichte experimentirte und die Breite der Streifen für verſchiedene Farben maß. Die Urſache der Erſcheinung wollte Newton aber in abſtoßenden Kräften finden, von denen er überdies behauptete, daß ſie von der materiellen Beſchaffenheit des beugenden Körpers abhängig wären. Die an den Rändern des dünnen Körpers vorbeigehenden Strahlen würden um ſo ſtärker abgelenkt, je näher ſie an dem Rande wären, und durch die Durchſchnittspunkte der mithin verſchieden ſtark gebeugten Strahlen entſtehe eine Brennlinie, innerhalb deren kein Licht eindringen könne *).

Daß Newton's Anſicht über die Abhängigkeit der abſtoßenden Kräfte von der materiellen Beſchaffenheit des beugenden Körpers nicht begründet ſei, dafür führte den Nachweis Flaugergues in ſeiner von der Akademie zu Nismes 1811 gekrönten Preisſchrift **) und ſpäter (1829) Haldat ***). Auch ſpricht gegen Newton's Erklärung die zuerſt von Du Tour ****) gemachte Beobachtung, daß die Breite der Franſen bei gleichem Abſtande von dem beugenden Körper größer wird, wenn man dieſen der Lichtquelle nähert. Es iſt unbegreiflich, wie die Größe der abſtoßenden Kraft des beugenden Körpers von dem Wege abhängen ſoll, welchen das Licht vor dem Zuſammentreffen mit dieſem Körper zurückgelegt hat.

Wie Newton, der unbegreiflicher Weiſe auf Grimaldi's Anſicht nicht einging, ungeachtet auch Hooke *****) die wellenförmige Bewegung des Lichtes ahndete, durch das Studium der ſogenannten Newton'ſchen Farbenringe, deren Erklärung mit den Erſcheinungen der Inflexion und Interferenz innig zuſammenhängt, auf die Hypotheſe der Anwandlungen geführt wurde, darüber verweiſen wir auf Art. Farbenringe Newton's Bd. III. S. 72.

Auf dem Newton'ſchen Standpunkte befanden ſich noch Biot und Pouillet, als ſie durch gemeinſchaftliche Verſuche †) entdeckten, daß bei der Anwendung einfachen Lichtes die Entfernung der farbigen Streifen von der Grenze, die der gerade fortgehende Lichtſtrahl angeben würde, genau proportional iſt der Länge der Anwandlungen der einzelnen Farben, oder — im Sinne der Undulationstheorie — daß die Breite der Franſen oder die Entfernung der Mitte zweier auf einander folgenden dunklen Streifen ſich wie die Wellenlänge der Farbe verhält. Daß die Breite dieſer Franſen im umgekehrten Verhältniſſe mit der Breite der Oeffnung ſteht, war eine fernere Entdeckung dieſer Naturforſcher.

Die eigentlich gar nicht in dem Weſen der Emanationstheorie begründete, ſondern ganz willkürliche Annahme der Anwandlungen mußte immer Bedenken erregen. Daher erſcheint es als ein bedeutſamer Schritt, den Young that, als

---

*) Optice, lib. III. observ. 1. ed. Lausannae c. Genevae 1740. p. 252.

**) Journ. de Phys. T. LXXV. p. 16; T. LXXVI. p. 142. 278.

***) Ann. de Chim. et de Phys. T. XLI. p. 424.

****) Mém. de Math. et de Phys., présentés à l'acad. des sciences. Paris 1768. T. V. p. 657.

*****) Micrographia. London. p. 65. Philos. Transact. 1672 u. 1675.

†) Biot, Traité de phys. T. IV. p. 743. Eléments de Phys. par Pouillet, trois. ed. T. II. p. 295.

er 1802 die richtigen Principien der Interferenz (vergl. diesen Art.) aufgestellt hatte, nämlich die Entstehung der Beugungsstreifen aus der Interferenz der Strahlen, die an den Rändern der beugenden Körper vorbeigehen, mit denjenigen, welche in sehr schräger Richtung von denselben zurückgeworfen werden, erklären zu wollen. Es war dies zwar in einem Punkte ein Irrthum, aber das Interferenzprincip bei den Beugungserscheinungen zu Hülfe zu ziehen, war ein glücklicher Gedanke, der leider von anderen Physikern noch längere Zeit unbeachtet blieb *).

Im Jahre 1815 überzeugte sich Fresnel **), daß im Widerspruch mit Young, auf dessen Untersuchungen er erst durch Arago aufmerksam gemacht wurde, die Fransen gar nicht von der Gestalt der Ränder abhängen. Der entscheidende Versuch wurde mit zwei Stahlplatten angestellt, die einander genähert eine Spalte zum Durchgange des Lichtes bildeten. Jeder Spaltenrand war zur Hälfte abgerundet, zur Hälfte zugeschärft, und nun ergab sich die Mitte des Beugungsbildes eben so hell und die Fransen waren eben so vollkommen gerade, mochte der abgerundete Rand dem abgerundeten, oder der zugeschärfte dem zugeschärften, oder ein abgerundeter einem zugeschärften gegenüberstehen.

Fresnel hielt nun zwar an der Idee Young's fest, daß man es hier mit Interferenzphänomenen zu thun habe; erkannte aber die wahre Ursache darin, daß die Punkte des Spaltrandes Ausgangspunkte neuer Wellensysteme würden, wie auch im Eingange dieses Artikels aufgestellt worden ist. Auf diese Principien gründete er seine Rechnungen, und die Beobachtungen sowohl an einer schmalen Spalte, als an einem schmalen undurchsichtigen Körper stimmten vollkommen mit denselben überein ***).

Poisson verfolgte diese Resultate der Rechnung und kam darauf, daß eine kleine undurchsichtige Scheibe im Mittelpunkte ihres Schattens eben so erhellt sein müsse, als ob gar keine Scheibe vorhanden wäre. Arago stellte mit einem zwei Millimeter im Durchmesser haltenden Metallscheibchen, welches mit Wachs auf eine reine Glasplatte geklebt war, den hierauf bezüglichen Versuch an und fand in der That einen kleinen hellen Kreis um den Mittelpunkt ****).

Daß Fresnel die Beobachtungsmethode verbesserte, verdient auch noch erwähnt zu werden. Als Lichtquelle benutzte er den Brennpunkt einer gewöhnlichen Linse oder die Brennlinie einer Cylinderlinse; ferner fing er die Beugungsfiguren nicht mit einem Schirme auf, sondern beobachtete sie durch eine Loupe.

Arago ging auf dem von Fresnel eingeschlagenen Wege weiter †); besonders aber zeichneten sich die Beobachtungen Frauenhofer's aus über die Beugungsspectra, die durch **eine** Spalte, oder durch ein Gitter (eine Reihe

---

*) Gilb. Ann. Bd. XXXIX. S. 156. 206. 235, namentlich in Betreff der Beugung S. 196; aus: Philos. Transact. for 1802. p. 12, 387.

**) Pogg. Ann. Bd. III. S. 89, 303; vergl. auch: Bd. XXX. S. 113 u. 137. Ann. de Chim. et de Phys. T. I. p. 239. Mém. de l'Acad. roy. des Sciences. T. V. p. 339.

***) Ueber die Oerter der Maxima und Minima des gebeugten Lichtes nach den Fresnel'schen Beobachtungen s. Knochenhauer in Pogg. Ann. Bd. XLI. S. 103.

****) Pogg. Ann. Bd. V. S. 246. Mém. de l'acad. des sciences de l'Institut. 1821 u 1822. T. V. p. 460.

†) Ann. de Chim. et de Phys. T. I. p. 190. 199. Pogg. Ann. Bd. XII. S. 370; Bd. XXIII. S. 288.

von gleich großen und gleich weit von einander entfernten Spaltöffnungen, durch parallel gespannte Fäden oder Drähte, oder durch parallele Linien gebildet, welche man in der Goldbelegung einer Glasplatte zieht), oder durch ein Doppelgitter (zwei sich rechtwinkelig kreuzende einfache Gitter), oder durch ein Partiegitter (mehrere gleiche, aber ungleich entfernte rechtwinkelige Oeffnungen, die sich regelmäßig in gleichen Abständen wiederholen), oder durch eine kreisförmige Oeffnung entstehen *).

John Herschel vervollständigte diese Beobachtungsreihe noch durch die Beugungserscheinungen, welche eine dreieckige Oeffnung, oder auch mehrere symmetrisch geordnete Dreiecke zeigen **).

Bis dahin hatten die Fresnel'schen Rechnungsresultate (die Intensität des gebeugten Lichtes hatte sich als von zwei Integralen abhängig ergeben) nur auf die einfachsten Fälle Anwendung gefunden, und eine allgemeine Lösung des Problems aus den Principien der Undulationstheorie schien noch weit entfernt zu sein. Da trat bereits 1835 F. M. Schwerd, Professor am Lyceum zu Speier, mit der vollständigen Lösung auf ***), und enträthselte alle wunderbaren Lichtgestalten, welche bei der Beugung des Lichtes sich zeigen. Bis in das kleinste Detail stimmt das Ergebniß der Rechnung mit der Erfahrung überein; ja es belehrt die analytische Entwickelung über alle Theile der Erscheinungen ausführlicher und gründlicher, als die besten Beobachtungen und die genauesten Messungen zu thun im Stande sind, und sie leitete sogar sehr häufig auf Entdeckungen, welche das schärfste Auge, ohne die Hülfe der Theorie, niemals gemacht haben würde. Es sagt Schwerd auch mit Recht, daß die Undulationstheorie die Beugungserscheinungen eben so zuverlässig vorhersagt, wie die Gravitationstheorie die Bewegung der Himmelskörper.

Um seine Rechnungsresultate zu prüfen, nahm Schwerd zur Lichtquelle entweder das Sonnenbildchen, welches von einem inwendig mit Asphalt geschwärzten Uhrglase reflectirt wurde, oder die Lichtlinie, welche man durch Reflexion des Sonnenlichts von einer inwendig geschwärzten Glasröhre erhält. Die beugenden Oeffnungen, mit Ausnahme der Gitter, machte er in Staniolblättchen, welche auf Ringen befestigt wurden, die auf einer messingenen Röhre eingesetzt werden konnten. Diese Röhre paßte auf die äußere Fassung der Objectivlinse eines achromatischen Fernrohrs, welches für kleine Entfernungen ausziehbar war, und dadurch erlangte er den großen Vortheil ein dunkles Zimmer ganz entbehren zu können, indem alles fremdartige Licht von der Objectivlinse durch die aufgesetzte Röhre abgehalten wurde ****).

---

*) „Neue Modificationen des Lichtes durch gegenseitige Einwirkung und Beugung der Strahlen, und Gesetze derselben" in Denkschriften der königl. Baierischen Akademie der Wissenschaften für 1821 und 1822. Bd. VIII; im Auszuge: Gilb. Ann. Bd. LXXIII. S. 267; vergl. auch: „Kurzer Bericht von den Resultaten neuerer Versuche über die Gesetze des Lichtes, und die Theorie derselben" in Gilb. Ann. Bd. LXXIV. S. 337.

**) Pogg. Ann. Bd. XXIII. S. 281. On Light. p. 491. §. 766.

***) Die Beugungserscheinungen aus den Fundamentalgesetzen der Undulationstheorie analytisch entwickelt und in Bildern dargestellt von F. M. Schwerd. Mit 18 zum Theil illuminirten Tafeln. Mannheim 1835.

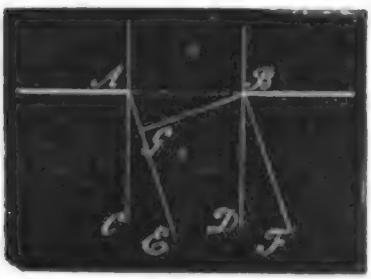
****) Ueber den Schwerd'schen Apparat zur Darstellung der Beugungserscheinungen des Lichtes vergl. Pogg. Ann. Bd. XXXVIII. S. 238.

Die Rechnungen von Schwerd gab 1839 Radicke in gedrängter Kürze *), und in demſelben Jahre trugen dieſelben Littrow **) und Knochenhauer ***) in die Sprache der Differentialrechnung über. Neuerdings hat E. Wilde ****) ſtatt der complicirten Schwerd'ſchen Entwickelung, freilich nur für den gewöhnlichen Beobachtungsfall, wenn die parallel einfallenden Strahlen ſenkrecht auf der beugenden Oeffnung ſind, die Formeln in einfacherer Weiſe entwickelt, und hierdurch die Hauptprobleme auf wenige Gleichungen zurückgeführt.

Seit Schwerd's bewunderungswürdiger Arbeit herrſcht über das Beugungsphänomen — ausgenommen vielleicht bei Moon (ſ. unten) — kein Zweifel mehr, eben ſo wenig über die undulatoriſche Verbreitung des Lichtes. Was ſeitdem geſchehen, betrifft — wie wir eben geſehen haben — die Umformung und bequemere Entwickelung der Schwerd'ſchen Formeln, und außerdem die Bearbeitung einzelner Beugungsphänomene.

Wir wenden uns jetzt zu der Erklärung der einfacheren Beugungserſcheinungen, und beginnen mit dem einfachſten Falle, mit der Beugung durch eine Spalte.

Es ſei A B (ſ. beiſtehende Figur) der horizontale Querſchnitt einer engen verticalen Spalte. Auf dieſelbe falle homogenes Licht ſenkrecht auf von einem möglichſt entfernten Lichtpunkte, ſo daß man die auffallenden Strahlen als parallel anſehen kann, ſo werden die Lichtwellen in gleichen Phaſen auf die Oeffnung treffen und nach dem Durchgange durch die Spalte — wie es für den erſten Augenblick ſcheint — auch alle in derſelben Richtung und mit gleichen Phaſen weiter gehen. Aber die einzelnen Wellen des Randes werden Ausgangspunkte neuer Wellenſyſteme, und daher gehen von dem Rande Aetherwellen in jeder anderen Richtung fort, nicht blos ſenkrecht zur Spaltöffnung. Unter dieſen Randſtrahlen werden ſich auch ſolche befinden, die, wie A E und B F, parallel ſind und deren Gangunterſchied A G — wenn B G ſenkrecht auf A E und B F iſt — eine halbe Wellenlänge beträgt. Eine Folge hiervon muß ſein, daß dieſe Randſtrahlen — und dies gilt auch von den ihnen zunächſt liegenden, da dieſe faſt denſelben Gangunterſchied haben werden, — ſich in ihrer Wirkung aufheben, alſo vollſtändig interferiren. Betrachtet man nun die Spalte nach der Schwerd'ſchen Methode durch ein Fernrohr, ſo werden zwar die ſenkrecht zur Spalte fortgegangenen Strahlen in dem Brennpunkte des Objectivglaſes ein helles Bild geben, welches das Auge durch das Ocular des Fernrohres vergrößert erblickt; aber die



---

*) Handbuch der Optik. Berlin 1839; vergl. auch Dove's Repert. der Phyſ. Bd. III. S. 237.

**) Gehler's phyſ. Wörterb. N. A. Bd. IX. Art. Undulation.

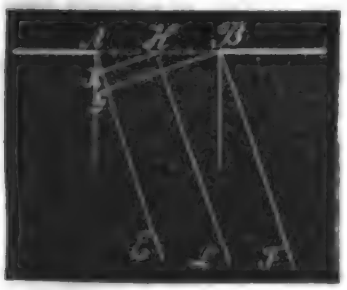
***) Die Undulationstheorie des Lichtes. Berlin 1839.

****) Pogg. Ann. Bd. LXXIX. S. 75 u. 202.

nicht ſenkrecht fortgehenden Strahlen, deren Gangunterſchied eine halbe Wellenlänge beträgt, werden ſeitwärts von dem Bilde der ſenkrecht auffallenden Strahlen eine Lichtſchwächung veranlaſſen, wiewohl noch keine dunkle Stelle, da immer noch wirkſame Strahlen übrig bleiben.

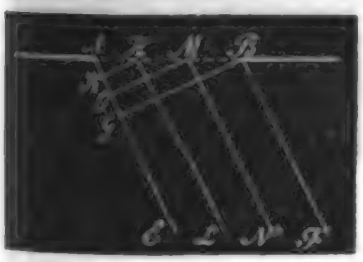
Nehmen wir jetzt an, daß der Gangunterſchied der Randſtrahlen AE und BF (ſ. beiſtehende Fig. I.), alſo AG, eine ganze Wellenlänge betrage; ſo werden alle Strahlen, welche durch die Beugung dieſe Richtung erhalten haben, ihre Wirkung aufheben, alſo vollſtändig interferiren. Denn theilen wir dies ganze Strahlenbündel durch HL in zwei gleiche Theile, ſo beträgt der Gangunterſchied von AE und HL, alſo AK, eine halbe Wellenlänge, ſo daß ſich dieſe beiden Strahlen vernichten. Wären zwiſchen A und B 100 ſolcher Strahlen, AE der erſte, HL der 50., ſo gälte Daſſelbe von dem 2. und 51., dem 3. und 52. u. ſ. f. Es muß mithin an der Stelle des Bildes im Brennpunkte, an welcher ſich die bezeichneten Strahlen zu einem Punkte vereinigen, eine dunkle Unterbrechung eintreten.

I.



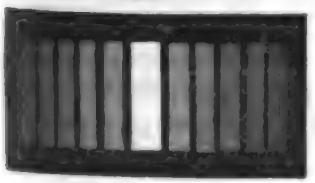
Zwiſchen anderen Randſtrahlen wird der Gangunterſchied drei halbe Wellenlängen betragen. Theilen wir daher das entſprechende Strahlenbündel durch HL und MN (ſ. beiſtehende Fig. II.) in drei gleiche Theile; ſo beträgt der Gangunterſchied zwiſchen AE und HL, alſo AK, eine halbe Wellenlänge, eben ſo zwiſchen HL und MN, desgleichen zwiſchen MN und BF. Vergleichen wir dieſen Fall mit dem vorhergehenden, ſo ergiebt ſich, da zwiſchen AE und MN, oder zwiſchen HL und BF ein Gangunterſchied von einer ganzen Wellenlänge ſtattfindet, daß zwei Drittel aller dieſer Strahlen ſich vollſtändig vernichten, mithin nur ein Drittel wirkſam bleibt. An der Stelle des im Brennpunkte beobachteten Bildes, an welcher dieſe Strahlen ſich vereinigen, iſt alſo keine Dunkelheit, aber eine geringere Intenſität, als an der Stelle, an welcher ſich die Randſtrahlen vereinigten, deren Gangunterſchied eine halbe Wellenlänge betrug.

II.



Durch Fortſetzung dieſer Betrachtung kommen wir zu dem Reſultate, daß Randſtrahlen, deren Gangunterſchied eine gerade Anzahl halber Wellenlängen beträgt, ſich vollſtändig vernichten, daß alſo dunkle Stellen entſtehen, unterbrochen von nicht dunkeln, aber von der Mitte aus an Intenſität nach beiden Seiten abnehmenden, welche den Randſtrahlen entſprechen, deren Gangunterſchied eine ungerade Anzahl halber Wellenlängen ausmacht.

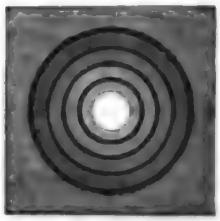
III.



Man überſieht nun, wie im Allgemeinen die Erſcheinung bedingt iſt, welche man durch eine ſchmale Spalte beobachtet. Wir geben hier (Fig. III.) eine Abbildung des Phänomens in homogenem Lichte, und

bemerken hierbei zugleich, daß für verſchiedene Farben die Streifen verſchiedene Breite zeigen. Für rothes Licht iſt das Spectrum bei derſelben Anzahl von Streifen am breiteſten, für violettes Licht am ſchmalſten.

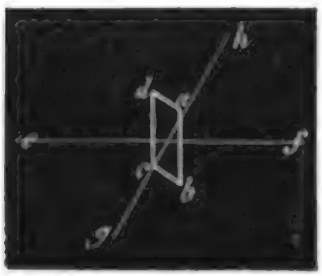
I.



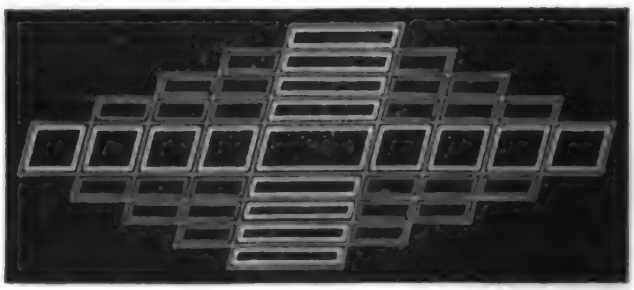
Nimmt man ſtatt der Spalte eine kleine kreisförmige Oeffnung, ſo ergiebt ſich das Beugungsbild im Allgemeinen durch eine ganz gleiche Betrachtung; es genügt daher von demſelben die nebenſtehende Abbildung (Fig. I.), beſtehend aus einem hellen Flecke mit concentriſchen Ringen, da die Strahlen rings um den Rand überall in derſelben Weiſe gebeugt werden.

Iſt die beugende Oeffnung parallelogrammartig, wie abcd (ſ. die beiſtehende Fig. II.), ſo laſſen ſich die gegenüberſtehenden Seiten als Ränder einer Spalte anſehen; und iſt ef ſenkrecht auf ab und cd, eben ſo gh auf bc und ad, ſo leuchtet ein, daß man ſowohl in der Richtung ef, als in der Richtung gh ein Spectrum erhält. Es ſei hierbei nur noch hervorgehoben, daß das Beugungsſpectrum um ſo breiter wird, je ſchmäler die Beugungsöffnung iſt, daß alſo hier dieſe Breite von der Entfernung der gegenüberſtehenden Seiten abhängt. Die beiſtehende Fig. III. bringt dies Beugungsbild zur Anſchauung.

II.



III.



Da die drei Dreiecksſeiten auf drei ſenkrechte Richtungen führen, ſo überſieht man, daß im Allgemeinen eine dreieckige Beugungsöffnung einen ſechseckigen Stern als Beleuchtungsfigur bedingt.

Die Beugungsfigur einer parallelogrammartigen Oeffnung beſteht nicht aus den beiden unveränderten Spectren, ſondern man bemerkt an derſelben noch dunkle Unterbrechungen. Dies hat ſeinen Grund darin, daß ſich die beiden Spectren zum Theil übereinander legen. Wo nämlich dunkle Stellen beider Spectren auf einander treffen, wird offenbar keine helle Stelle erzeugt werden können, weil die Strahlen jedes Spectrums ſich bereits unter einander vernichteten. An den Stellen aber des einen Spectrums, welche hell ſind, kann durch das Auftreffen einer ebenfalls hellen Stelle des anderen Spectrums ein ſolcher Gegenſatz in der Vibration des Aethers ſtattfinden, daß eine vollſtändige Interferenz die Folge hiervon ſein muß, und es wird mithin an dieſen Stellen ebenfalls Dunkelheit eintreten. Da nun an anderen hellen Stellen der Gegenſatz nicht dieſer Art ſein wird, entweder noch eine gewiſſe Vibrationsintenſität als Reſt bleibt, oder die in gleichem Sinne erfolgenden Vibrationen ſich ſummiren; ſo müſſen dunkle Streifen oder Franſen entſtehen, welche die einfachen Spectren durchſchneiden.

Ein gleicher Vorgang muß ſtattfinden, ſobald ſich überhaupt mehrere Spectren durchſchneiden, alſo namentlich wenn die Beugungsbilder mehrerer Oeffnungen in einander treffen. Die ſo entſtandenen kleineren Spectra nennt Frauenhofer im Gegenſatze zu den Spectren erſter Klaſſe, welche einzelne einfache Beugungsöffnungen zeigen, Spectra zweiter Klaſſe, durch Durchkreuzung zweier Spectren, Spectra dritter Klaſſe, durch Durchkreuzung dreier Spectren entſtanden u. ſ. f.

Bis jetzt ſind wir davon ausgegangen, daß homogenes Licht zur Erzeugung des Beugungsphänomens benutzt werde. Da wir nun oben bereits bemerkt haben, daß die Spectra für die verſchiedenen Farben bei derſelben Spalte verſchiedene Breite zeigen, ſo können bei Anwendung von weißem Lichte, weil dies (ſ. Art. Farbe Bd. III. S. 24) eine Zuſammenſetzung aller verſchiedenen Farben iſt, die dunklen und hellen Stellen (die Minima und Maxima der Lichtſtärke) für die verſchiedenen Farben nicht zuſammenfallen. Mit Ausnahme der Mitte wird man mithin ſelbſt bei einer einfachen Spalte nirgends Weiß erblicken und eben ſo wenig an irgend einer Stelle völlige Dunkelheit wahrnehmen, überall werden Farbentöne auftreten, in welchen diejenigen Farben vorherrſchen, welche an der betreffenden Stelle gerade einen hellen Streifen bilden würden.

Wir verfolgen dies hier nicht weiter, da im Art. Farbenringe Newton's *) die erforderliche Erläuterung bereits gegeben iſt; nur das wollen wir noch hervorheben, daß die violetten Streifen der einzelnen Farbenbänder der Mitte näher ſtehen, als die rothen, weil dies in vielen Fällen einen Anhalt gewährt, um eine Erſcheinung als ein Beugungsphänomen zu erkennen (vergl. Art. Hof).

Da die Beugungserſcheinungen von dem Gangunterſchiede der gebeugten Strahlen abhängen und ins beſondere von der Anzahl halber Wellenlängen, welche dieſer Gangunterſchied beträgt; ſo werden dieſe Erſcheinungen ein ſicheres Mittel bieten, die Länge der Lichtwellen zu beſtimmen.

Man bringe die beugende Spalte vor das Objectiv des Fernrohres eines Theodolithen, mit welchem man die Winkel noch bis auf eine Secunde beſtimmen kann, und meſſe nun die Winkelabſtände der dunklen Streifen von der Mitte des Beugungsbildes, indem man zuerſt den verticalen Faden des Fadenkreuzes genau auf die Mitte des Bildes einſtellt und dann durch horizontale Drehung mit dem erſten, zweiten u. ſ. w. dunklen Streifen zuſammenfallen läßt. Durch Ableſung auf dem horizontalen Theilkreiſe des Theodolithen erhält man die Größe der Drehung.

Schwerd **) erhielt, als er mit homogenem rothen Lichte experimentirte, welches er ſich durch ein rothes Glas verſchafft hatte, für eine Spalte von 1,353 Millim. Breite für die dunklen Streifen folgende Winkelabſtände von der Mitte des Beugungsbildes.

Dunkler Streifen:	1.	2.	3.	4.
Winkelabſtand:	1′ 41″.	3′ 18″.	4′ 55″.	6′ 27″,

woraus ſich als Mittel für den Winkelabſtand zweier auf einander folgenden dunklen Streifen der Werth 1′ 38,1″ ergiebt.

---

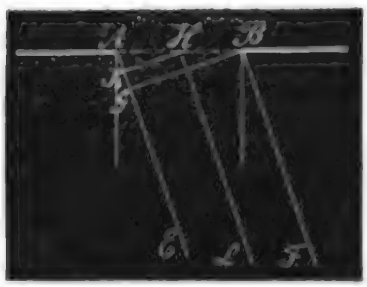
*) Bd. III. S. 80 u. 81; vergl. auch S. 68 ff. die Entwickelung nach Newton's Theorie.

**) A. a. O. S. 32.

Mit einer anderen Spalte von 1,274^{mm} Breite erhielt er, ebenfalls für rothes Licht:

1.	2.	3.	4.	Mittel
1′ 47″.	3′ 38″.	5′ 17″.	6′ 55″.	1′ 45,″7.

Eine dritte Beobachtungsreihe gab als Mittel 3′ 7″ für eine Spalte von der Breite 0^{mm},689.



Da nun für den erſten dunklen Streifen (ſ. nebenſtehende Figur) AG der Wellenlänge gleich ſein muß, aber auch AG = AB . sin ABG iſt, ſo erhält man AG = 1,353 . sin 1′ 38″,1 nach der erſten Beobachtungsreihe, AG = 1,274. sin 1′ 45″,7 nach der zweiten, und AG = 0,689. sin 3′ 7″ nach der dritten; es beträgt alſo die Wellenlänge für rothes Licht 0^{mm},000643, oder 0^{mm},000653 oder 0^{mm},000625, mithin im Mittel 0^{mm},000640.

Es muß hier genügen, dieſen Weg zur Ermittelung der Wellenlängen bezeichnet zu haben; wegen der Reſultate, welche ſich in dieſer Beziehung ergeben haben, verweiſen wir auf Art. Farbenringe Newton's Bd. III. S. 79. Doch wollen wir nicht verabſäumen, hier noch die Ergebniſſe anzuführen, welche Robert *) durch ſeine Interferenz-Spectrumplatte gefunden hat. In Millionſteln von Pariſer Linien erhielt er in der Luft für:

ſehr tief roth . . .	338	blaugrün	223
tief roth	328	blau	211
hellorange	281	indigo	199
ſchwefelgelb	258	violett	187
ſchön grün	234	ſehr tief violett . . .	176

woraus ſich als Mittel für die Wellenlängen in der Luft 0,‴0002435 herausſtellt **).

Ob die Lichtbeugungsphänomene auch im leeren Raume eintreten, dieſe Frage haben Flaugergues ***) und Magnus ****) zu erledigen geſucht. Jener kittete auf den Boden einer gläſernen Flaſche, die plane und parallele Wände hatte, eine viereckige meſſingene Platte und befeſtigte in dem Halſe derſelben eine etwa 30 Zoll lange Röhre. Dieſen Apparat ſetzte er der Sonne aus und beobachtete den Schatten der Platte in verſchiedenen Entfernungen. Darauf füllte er die Flaſche und ihre Röhre mit Queckſilber, ſuchte alle Luft fortzuſchaffen und drehte alsdann den Apparat um, indem er das offene Ende der Röhre mit dem Finger ſchloß und unter Queckſilber brachte. Beobachtete er wieder den Schatten, ſo zeigte ſich dieſelbe Erſcheinung wie früher. Hiergegen läßt ſich einwenden, daß das gebildete Torricelli'ſche Vacuum wohl nicht ganz luftleer ſein könnte;

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXV. S. 90.

**) Ueber die Wellenlängen und Oscillationszahlen der farbigen Strahlen im Spectrum iſt auch zu vergleichen Drobiſch in Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 519.

***) Journ. de phys. par Delamétherie. 1812. T. LXXV. p. 16.

****) Pogg. Ann. Bd. LXXI. S. 408.

außerdem fanden die Beugungserſcheinungen gar nicht im luftleeren Raume ſtatt, ſondern in der hinter der angewandten Flaſche befindlichen Luft; auch war die Meſſung des Schattens keineswegs genau genug, um zu entſcheiden, ob die Fortpflanzung des Lichtes durch die Flaſche eine wellenförmige geweſen ſei oder nicht.

Magnus brachte in ein Gefäß aus Glas, welches er ebenfalls mit Queckſilber gefüllt hatte, ſo daß es den Raum des Torricelli'ſchen Vacuums einnahm, die Beugungsſpalte im Innern an und verlegte eben ſo den leuchtenden Punkt in den leeren Raum. Dies wurde dadurch erreicht, daß zwei ganz ſchmale Spaltöffnungen (Diaphragmen) in einer Entfernung von 4 Linien hinter einander angebracht wurden. Die eine bildete gleichſam eine leuchtende Linie, welche ihr Licht auf die andere ſandte. Hierbei zeigten ſich in dem leeren Raume, ſowohl bei homogenem, als bei weißem Lichte, die Streifen und zwar mit derſelben Schärfe und Intenſität, wie in dem mit Luft erfüllten Raume, und zwar ſah man durch eine dicht an das Glas gehaltene Loupe die Streifen ganz dicht in dem Brennpunkte derſelben, der offenbar innerhalb des leeren Raumes lag. — In dem Torricelli'ſchen Vacuum, ſo weit wir dies als leer anſehen dürfen, erfolgen hier noch die Beugungserſcheinungen eben ſo, wie in Luft.

Die Beugungsphänomene — die dabei auftretenden Farben nennt Goethe *) paroptiſche — zu beobachten bieten ſich vielfache Gelegenheiten, z. B. wenn man durch die Fahne einer Vogelfeder nach einem Lichtpunkte ſieht, wozu ſich namentlich die Flügel- oder Schwanzfedern kleiner Vögel eignen, eben ſo wenn man feine maſchige Zeuge, z. B. Mouſſelin, Flor, feines Drahtgewebe vor ein Fernrohr bringt, ins Beſondere wenn man dieſe Zeuge doppelt legt. Man bemerkt die Beugungserſcheinungen ſchon, wenn man mit blinzendem Auge, alſo durch die Haare der Augenbraunen, nach einem nicht zu nahen, ſtark leuchtenden Punkte, z. B. nach einem Sterne ſieht, desgleichen wenn man durch die feinen Haare der Hüte oder durch Spinngewebe nach der Sonne blickt. Eine mit feinem Staube, z. B. mit semen lycopodii beſtreute oder zart behauchte Glasſcheibe zeigt, wenn man durch dieſelbe eine Kerzenflamme anſieht, eine Glorie, die nichts anderes als ein Beugungsphänomen iſt, worüber der Art. Hof zu vergleichen iſt. Aus den Geſetzen der Beugung ſind auch die dunklen Streifen zu erklären, welche man zwiſchen den eng an einander geſchloſſenen geſtreckten Fingern, zwiſchen den nicht genau ſchließenden Schneiden einer Scheere, überhaupt durch jede enge Spalte wahrnimmt, wenn man durch dieſelbe ins Helle ſieht.

Im reflectirten Lichte ſieht man die Erſcheinungen der Beugung auf gleiche Weiſe, wie ſie im directen bemerkt werden; doch ſind dieſelben mehr zu den Erſcheinungen zu rechnen, welche im Art. Farbenringe Newton's beſprochen ſind **). Wir wollen indeſſen an dieſer Stelle noch aufmerkſam machen auf die von Barton ***) erfundenen iriſirenden Knöpfe, welche aus polirtem,

*) Vergl. Art. Farbe. Bd. III. S. 44.
**) Vergl. Bd. III. S. 57 u. 58. Nr. 3.
***) Gilbert's Ann. Bd. LXXIV. S. 379. Edinburgh. phil. Journ. T. XV. p. 128.

in verſchiedene Felder getheiltem, Metalle beſtehen und wobei die einzelnen Felder mit höchſt nahen und feinen parallelen Linien eingeſchnitten ſind. Das reflectirte Tageslicht zeigt bei dieſen Knöpfen die prismatiſchen Farben, das reflectirte Sonnenlicht wirft gegen eine Wand eine aus zahlloſen ſolchen Farben beſtehende Scheibe. Die Farben ſind um ſo ſchöner, je mehr Linien genau parallel neben einander in einem gleich großen Raume gezogen ſind. Barton vermochte 10000 derſelben in dem Raum eines Zolles zu ziehen. Schon Young erkannte, daß es ſich hier um Interferenzen von Lichtbündeln handelt, von denen das eine an der einen, das andere an der anderen Seite der Furche zurückgeworfen wird.

Der Mechanikus Hoffmann in Leipzig hat in einer Stahlplatte mittelſt eines Diamanten außerordentlich enge Linien in gleichen Abſtänden gezogen und dieſelbe ſo in eine Kapſel eingeſchloſſen, daß nur durch eine ſchmale Oeffnung das Sonnenlicht auf ſie fällt. Durch ein Rohr ſieht man nach der Stahlplatte, und wie dieſe durch Drehung gegen das einfallende Licht anders und anders geſtellt wird, folgen ſich die ſchönſten Farbenerſcheinungen. Hoffmann nennt dies Inſtrument Chromadot (ſ. d. Art.), Brandes *) möchte es lieber Inflexioſkop genannt wiſſen, womit indeſſen bereits ein von Joh. Tob. Mayer angegebenes Inſtrument **) bezeichnet wird, welches jetzt jedoch von keinem beſonderen Werthe mehr iſt. — Robert's bereits oben erwähnte Interferenz-Spectrumplatte wollen wir an dieſer Stelle wenigſtens nochmals ins Gedächtniß zurückrufen, da man mit derſelben das Interferenzphänomen hervorbringen kann ſowohl durch Interferenz in der Luft, als auch durch Interferenz im Glaſe ſelbſt.

Erwähnen wollen wir noch ein Beugungsphänomen, welches Powell ***) beſchreibt. Ein leuchtender Punkt ſendet ſeine Strahlen auf eine kleine undurchſichtige Scheibe, und man ſieht dann vermittelſt eines Fernrohrs leuchtende Strahlen von dem Rande der Scheibe nach dem Centrum hin gehen und ſich dort in einen hellen Fleck vereinigen. Die Erſcheinung wird nicht bemerkt, wenn der Rand der Scheibe polirt iſt, und rührt alſo von Interferenzen her, welche durch die Unebenheiten des Randes hervorgerufen werden.

Wegen der Wichtigkeit der Beugungserſcheinungen für die Undulationstheorie des Lichtes laſſen wir im Folgenden noch die mathematiſche Entwickelung folgen, zumal das Detail der Erſcheinung ohne dieſelbe gar nicht erkannt werden kann. Um indeſſen die Darſtellung nicht zu weit auszudehnen, werden wir uns nach Wilde (a. a. O.) auf den gewöhnlichen Beobachtungsfall beſchränken, wenn die parallel einfallenden Strahlen ſenkrecht auf der beugenden Oeffnung ſind. Die Literatur für diejenigen, welche den betreffenden Gegenſtand allgemeiner kennen lernen wollen, iſt bereits oben gegeben.

*) Brandes in Gehler's phyſ. Wörterbuche. N. B. Bd. IV. S. 101.
**) Comment. recent. societ. reg. Gotting. T. IV. Class. math. p. 49.
***) Instit. No. 676. p. 422; Sillim. Journ. 1846. T. III. p. 277.

Es ſei in beiſtehender Figur b o die Richtung eines Lichtſtrahls, ſo machen nach der Undulationstheorie alle auf dieſer Richtung befindlichen Aethermolecüle b, d, g . . . Schwingungen, welche ſenkrecht auf b o ſind. Das Aethermolecül

z. B., deſſen Gleichgewichtslage in b iſt, bewegt ſich mit abnehmender Geſchwindigkeit nach b', wo es ſeine größte Entfernung von der Gleichgewichtslage und die Geſchwindigkeit Null hat, kehrt hierauf mit zunehmender Geſchwindigkeit nach b zurück, wo es das Maximum der Geſchwindigkeit erreicht, weicht mit abnehmender Geſchwindigkeit bis b'' aus, und kehrt dann nach der Gleichgewichtslage in b zurück, wo es wieder im Maximum ſeiner Geſchwindigkeit iſt. Dieſer Weg des Molecüls von b bis b', von hier zurück bis b'' und von da wieder bis b iſt eine Schwingung, Oscillation oder Vibration, während man unter ſeiner Schwingungsweite oder Amplitude ſeine größte Ausweichung bb' oder bb'' aus der Gleichgewichtslage verſteht. Die Zeit zu einer Oscillation heißt die Schwingungs- oder Oscillationsdauer, und die an jeder Stelle einer Oscillation verſchiedene Geſchwindigkeit des Molecüls ſeine Oscillationsgeſchwindigkeit.

Ungeachtet der Fortpflanzungsgeſchwindigkeit des Lichtes von gegen 42000 deutſchen Meilen in der Secunde vergeht doch einige Zeit, bis die bei b beginnende Bewegung des Aethers ſich bis zu dem Molecül g in ſolcher Weiſe erſtreckt, daß beide Molecüle b und g übereinſtimmende Schwingungen machen, ſo daß beide von b und g ausgehend in ein und demſelben Augenblicke ihre größten Ausweichungen in b' und g', desgleichen in b'' und g'' erreichen ꝛc. Dann hat das Molecül b ſchon eine ganze Schwingung vollendet, wenn die Bewegung in g erſt beginnt. Hat l dieſelbe Lage gegen g, welche g gegen b hat, ſo hat b zwei Schwingungen und g eine gemacht, wenn l erſt zu ſchwingen beginnt. Die Entfernungen b g, g l . . . heißen Wellenlängen, die für verſchiedene Farben verſchieden ſind, und zwar für die rothe am längſten, und für die violette am kürzeſten, wie ſchon Newton *) gefunden hat.

Ein leuchtender Punkt oder Lichtpunkt iſt ein ſolcher, von dem die oscillirende Bewegung der auf einander folgenden Aethermolecüle ausgeht. Weiß heißt ein leuchtender Punkt, wenn die von ihm angeregten Aetherſchwingungen gewiſſermaßen unendlich verſchiedene Wellenlängen haben, weil Weiß der Inbegriff aller Farben iſt, und jede Farbe eine andere Wellenlänge hat; homogen wird ein leuchtender Punkt genannt, wenn die Wellenlängen aller von ihm ausgehenden Aetherſchwingungen gleich ſind.

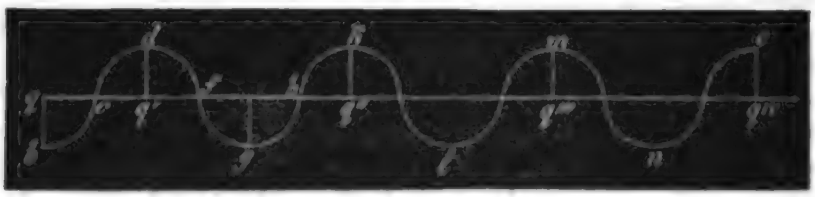
Ein geometriſcher Lichtſtrahl (Elementarſtrahl) iſt eine Reihe

*) Opt. lib. II. pars 4.

von Aetherſchwingungen, die in einer beſtimmten Richtung auf einander folgen; ein phyſiſcher Lichtſtrahl oder ein Wellenſyſtem aber ein Aggregat von ſo vielen geometriſchen Lichtſtrahlen, daß ſie einen Eindruck auf die Netzhaut machen können.

Ein Lichtſtrahl heißt ein natürlicher oder unpolariſirter, wenn die in demſelben nach einander folgenden Aethermolecüle in allen denkbaren Richtungen ſchwingen; polariſirt hingegen, wenn die Schwingungen aller zu ihm gehörigen Aethermolecüle einander parallel ſind. Aehnlich oder gleichartig polariſirt ſind zwei oder mehrere in derſelben Richtung ſich fortpflanzende Lichtſtrahlen, wenn in ihnen die Aetherſchwingungen in parallelen Richtungen erfolgen; bilden die Schwingungen aber einen ſpitzen oder ſtumpfen Winkel, ſo heißen ſolche Strahlen unähnlich oder ungleichartig polariſirt, und ſenkrecht aufeinander polariſirt nennt man ſie, wenn ihre Schwingungen ſenkrecht auf einander ſind.

Eine Curve, welche die gegenſeitige Lage der Aethermolecüle eines Lichtſtrahls in einem beſtimmten Augenblicke und für einen beſtimmten Ort des leuchtenden homogenen Punktes vorſtellt, kann man Amplitudencurve nennen. Von ihr iſt die Geſchwindigkeitscurve zu unterſcheiden, deren Ordinaten der gleichzeitigen Oscillationsgeſchwindigkeit der auf einander folgenden Aethermolecüle proportional ſind. Hätte z. B. der homogene Lichtpunkt b in der vorhergehenden Figur S. 69 zwiſchen b′ und b″ $3^1/_2$ Schwingungen von b aus gemacht, ſo daß er im Zuſtande ſeiner größten Geſchwindigkeit von oben nach unten durch b geht, ſo kann man, wenn die Richtung von oben nach unten als negativ bezeichnet wird, das negative Geſchwindigkeitsmaximum des Molecüls b durch die Ordinate q b (ſ. die beiſtehende Figur) vorſtellen, die gleichzeitige Geſchwindigkeit Null des Molecüls c durch die Ordinate Null, das gleichzeitige poſitive Geſchwindigkeitsmaximum des



Molecüls d durch die Ordinate q′d u. ſ. f. In ähnlicher Weiſe, wie hier die Curve b c d f g . . . (in beiſtehender Figur) die Geſchwindigkeit der einzelnen Molecüle in dem angenommenen Augenblicke darſtellt, kann man für jeden anderen Schwingungszuſtand des erſten Molecüls die Geſchwindigkeitscurve conſtruiren. Wie man ſieht, wird die Richtung b o des Strahles von der Geſchwindigkeitscurve in denſelben Punkten c, f, h . . . geſchnitten, in denen die Amplitudencurve am weiteſten von b o entfernt iſt.

Denkt man aus dem homogenen Lichtpunkte b der vorhergehenden Fig. S. 69 mit den Radien b g, b l . . . Kugelflächen beſchrieben, ſo ſind die auf einander folgenden Aethermolecüle zwiſchen b und der erſten Kugelfläche, zwiſchen dieſer und der nächſtfolgenden ꝛc. zu gleicher Zeit in allen möglichen Schwingungszuſtänden. Der zwiſchen zwei ſolchen Kugelflächen, die um eine Wellenlänge von einander abſtehen, bewegte Aether bildet eine Aetherwelle oder Undulation, in

welcher rings um den Störungsmittelpunkt b die in gleichen Entfernungen oscillirenden Molecüle in gleichen Schwingungszuſtänden ſind.

Iſt nun die Oscillationsgeſchwindigkeit eines homogenen leuchtenden Punktes v und ſeine Ausweichung s, ſo läßt ſich, wenn p die beſchleunigende Kraft, welche den Punkt nach ſeiner Gleichgewichtslage treibt, und t die Zeit bedeutet, welche ſeit dem Beginne der Schwingungen verfloß, v und s aus folgenden, auch für das Pendel maßgebenden Gleichungen ableiten:

$$v = \frac{ds}{dt}, \quad p = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2}.$$

Man erhält nämlich, da v abnimmt, wenn s wächſt und umgekehrt, und da p in einer Richtung wirkt, welche derjenigen, in welcher s zunimmt, entgegengeſetzt iſt:

$$v = -\frac{ds}{dt}, \quad p = A \,.\, s = -\frac{d^2s}{dt^2},$$

wo A einen conſtanten Factor bedeutet, weil, wie bei kleinen Pendelſchwingungen, p der Entfernung s proportional geſetzt werden kann.

Multiplicirt man die zweite Gleichung mit $2 \,.\, ds$, ſo iſt:

$$-2A \,.\, s \,.\, ds = \frac{2\,ds \,.\, d^2s}{dt^2},$$

und, wenn man jetzt integrirt:

$$-A \,.\, s^2 + \text{Const.} = \left(\frac{ds}{dt}\right)^2 = v^2.$$

Da die Oscillationsgeſchwindigkeit v = Null wird für $s = b\,b' = a$, ſo ergiebt ſich die Conſtante $= A \,.\, a^2$, und folglich iſt:

$$v = -\frac{ds}{dt} = A^{1/2}\,(a^2 - s^2)^{1/2}, \text{ woraus}$$

$$dt = -\frac{ds}{A^{1/2}\,(a^2 - s^2)^{1/2}}, \text{ und}$$

$$t + \text{Const.} = \frac{1}{A^{1/2}} \text{ arc. cos} \frac{s}{a}.$$

Rechnet man nun die Zeit t von dem Augenblicke an, in welchem die Schwingungen von b ausgingen, und $s = o$ war, ſo iſt die Conſtante $= \pm \frac{\pi}{2\,A^{1/2}}$, und man hat daher, wenn für die Ausweichung des Aethermolecüls aus ſeiner Gleichgewichtslage nur der poſitive Werth genommen wird:

$$s = a \,.\, \cos\left(A^{1/2}\,t - \frac{\pi}{2}\right) = a \,.\, \sin A^{1/2}\,t.$$

Iſt ferner T die Schwingungsdauer des homogenen leuchtenden Punktes, ſo macht er eine halbe Schwingung von b bis b' und wieder zurück bis b, für welchen Punkt wieder $s = o$ iſt, in der Zeit $\frac{T}{2}$. Für dieſen Werth von t hat man alſo:

$$0 = a \,.\, \sin A^{1/2} \frac{T}{2}, \text{ folglich:}$$

$$A^{1/2} \frac{T}{2} = \pi, \text{ und } A^{1/2} = \frac{2\pi}{T}, \text{ daher}$$

$$(1) \qquad s = a \sin \frac{2\pi t}{T} \text{ und}$$

$$(2) \qquad v = A^{1/2} (a^2 - s^2)^{1/2} = \frac{2a\pi}{T} \left(1 - \sin^2 \frac{2\pi t}{T}\right)^{1/2}$$

$$= \frac{2a\pi}{T} \cos \frac{2\pi t}{T},$$

wenn für die Oscillationsgeschwindigkeit des Aethermolecüls auch nur der positive Werth genommen wird.

Wird die gleichförmige Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes von 42000 Meilen in der Secunde mit V bezeichnet, so wird die Zeit $\frac{x}{V}$ erforderlich sein, damit die Schwingungen sich von dem leuchtenden Punkte bis zu dem Aethermolecül in der Entfernung x fortpflanzen können, da $V : x = 1$ Sec. : $\frac{x}{V}$ Sec. ist, so daß also vor der Zeit $\frac{x}{V}$ der leuchtende Punkt denselben Schwingungszustand hatte, den das Aethermolecül im letzten Augenblicke dieser Zeit erst erhält. Vor der Zeit $\frac{x}{V}$ aber war die Ausweichung des leuchtenden Punktes aus der Gleichgewichtslage, wenn er seine Schwingungen die Zeit t hindurch fortgesetzt hat, aus (1):

$$s = a \,.\, \sin \frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{x}{V}\right),$$

und seine Oscillationsgeschwindigkeit aus (2):

$$v = \frac{2a\pi}{T} \cos \frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{x}{V}\right).$$

So lange sich ein Strahl durch ein gleichartiges Mittel fortpflanzt, wird die Schwingungsdauer T dieselbe bleiben und auch die einer bestimmten Farbe zugehörige Wellenlänge λ in jeder Entfernung von der Lichtquelle einen und denselben Werth behalten; es ist folglich die Ausweichung eines in der Entfernung x vom leuchtenden Punkte (aus der Richtung des homogenen Strahles) befindlichen Aethermolecüls:

$$(3) \qquad s' = a' \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right),$$

und die Oscillationsgeschwindigkeit:

$$(4) \qquad v' = \frac{2a'\pi}{T} \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right),$$

wo ſtatt a geſetzt iſt a', weil anzunehmen iſt, daß ſich in größeren Entfernungen von dem homogenen leuchtenden Punkte die Schwingungsweite a eines zu demſelben gehörigen Strahles ändert, und in den kleineren Werth a' übergeht.

Aus den Gleichungen (2) und (4) ergeben ſich die größten Werthe der Oscillationsgeſchwindigkeit eines leuchtenden Punktes oder Aethermolecüls $\frac{2a\pi}{T}$ und $\frac{2a'\pi}{T}$. Man nennt dieſe Coefficienten die Vibrationsintenſität, und die rectificirten Bogen $\frac{2\pi t}{T}$ oder $2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{x}{\lambda}\right)$, deren Halbmeſſer 1 iſt, die Phaſen zur Zeit t, weil der Schwingungszuſtand eines leuchtenden Punktes oder Aethermolecüls von dieſem Bogen abhängt.

Aus den Gleichungen (3) und (4) geht hervor, daß zwar die Vibrationsintenſität $\frac{2a'\pi}{T}$ eines Aethermolecüls von ſeiner Schwingungsdauer T, alſo auch von ſeiner Wellenlänge $\lambda = V.T$ abhängig ſei, daß aber die Schwingungsweite $s' = a'$ von der Wellenlänge nicht abhänge. Es kann alſo auch die Schwingungsweite der Molecüle viel kleiner, als der vierte Theil der Wellenlänge, und eine ganze Schwingung eines Molecüls viel kleiner, als die ganze Wellenlänge ſein.

Unter dem Gangunterſchiede zweier Strahlen von gleichen Wellenlängen oder der Verzögerung des einen gegen den anderen verſteht man die Zahl der Wellenlängen oder gewiſſer Theile derſelben, um welche der eine gegen den anderen zurückgeblieben iſt, entweder weil er ſich langſamer als der andere bewegt, oder weil er einen längeren Weg von der Lichtquelle aus zurückgelegt hat. Der Gangunterſchied zweier Strahlen hängt mit ihrem Phaſenunterſchiede ſo zuſammen, daß die Phaſe ſich für jede Wellenlänge um 2π ändert. Iſt λ die Wellenlänge beider Strahlen und δ der Unterſchied in ihren Wegen, ſo hat ihr Gangunterſchied $\frac{\delta}{\lambda}$ Wellenlängen, ihr Phaſenunterſchied aber iſt $\frac{2\pi\delta}{\lambda}$. Man erhält alſo den Phaſenunterſchied aus dem Gangunterſchiede, wenn man letzteren mit 2π multiplicirt.

Der Eindruck, welchen ein und derſelbe homogene Strahl mit der Wellenlänge λ in verſchiedenen Entfernungen von der Lichtquelle auf die Netzhaut macht, oder ſeine Intenſität oder Lichtſtärke, wird, gemäß den bekannten Geſetzen der Mechanik über den Widerſtand, dem Quadrate ſeiner Vibrationsintenſität in beiden Entfernungen proportional ſein. Iſt die Vibrationsintenſität $v' = \frac{2a'\pi}{T}$ für die Entfernung 1, und $v' = \frac{2a''\pi}{T}$ für die Entfernung x, ſo verhalten ſich alſo die Intenſitäten J und J', wie $v^2 : v'^2$. Weil aber in den Werthen von v und v' nur die Schwingungsweiten a' und a'' verſchieden ſind, ſo verhalten ſich die Intenſitäten eines homogenen Strahles in verſchiedenen Entfernungen von der Lichtquelle auch wie die Quadrate ſeiner Schwingungsweiten. Wird daher die Intenſität J' für die Schwingungs-

weite $a' = 1$ zur Einheit genommen, ſo iſt, wenn die Schwingungsweite den Werth a'' erhalten hat, die Intenſität $J' = a''^2$. Es kann alſo die Intenſität eines homogenen Strahles durch das Quadrat ſeiner Schwingungsweite beſtimmt werden.

Die Bewegung, die ein Aethermolecül durch beliebig viele in parallelen Richtungen wirkende Anregungen erhält, iſt in Folge des Princips der Coincidenz kleiner Bewegungen der algebraiſchen Summe der einzelnen Anregungen gleich. Wirken daher auf ein Aethermolecül gleichzeitig zwei ähnlich polariſirte und gleichfarbige Wellenſyſteme ein, ſolche alſo, deren Schwingungen parallel und deren Wellenlängen gleich ſind, und iſt die Ausweichung aus der Gleichgewichtslage für das eine Syſtem:

$$s = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) = a \,.\, \sin \xi,$$

und für das andere, wenn $\frac{\delta}{\lambda}$ den Gangunterſchied beider, folglich $\frac{2\pi\delta}{\lambda} = \beta$ ihren Phaſenunterſchied bedeutet,

$$s' = a' \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} - \frac{\delta}{\lambda}\right) = a' \sin (\xi - \beta),$$

ſo iſt die reſultirende Ausweichung des von beiden Schwingungen angeregten Aethermolecüls:

$$(5) \quad S = s + s' = (a + a' \cos \beta) \sin \xi - a' \sin \beta \cos \xi,$$

und, wenn man $a + a' \cos \beta = A \cos \gamma$ und $a' \sin \beta = A \sin \gamma$ ſetzt:

$$S = A \sin \xi \cos \gamma - A \cos \xi \sin \gamma = A \sin (\xi - \gamma).$$

Es iſt alſo A die aus dem Zuſammentreffen der beiden Schwingungen reſultirende Schwingungsweite, und ihr Quadrat oder die Intenſität des von beiden Schwingungen angeregten Aethermolecüls:

$$(6) \quad J = A^2 (\cos^2 \gamma + \sin^2 \gamma) = a^2 + a'^2 + 2\, a a' \cos \beta,$$

der Winkel γ aber beſtimmt durch die Gleichung:

$$\operatorname{tgs} \gamma = \frac{A \sin \gamma}{A \cos \gamma} = \frac{a' \sin \beta}{a + a' \cos \beta}.$$

Man erhält daher die Intenſität eines von zwei ähnlich polariſirten und gleichfarbigen Strahlen angeregten Aethermolecüls, wenn man zur Summe der Quadrate der Schwingungsweiten beider Strahlen das doppelte Product derſelben mit dem Cosinus ihres Phaſenunterſchiedes addirt.

Haben die beiden componirenden Syſteme denſelben Phaſenzuſtand, iſt alſo $\beta = \frac{2\pi\delta}{\lambda} = 0, = 2\pi, = 4\pi \ldots$, der Gangunterſchied der beiden Syſteme oder $\frac{\delta}{\lambda}$ folglich entweder Null oder einer beliebigen Anzahl ganzer Wellenlängen gleich, ſo iſt aus (5):

$$S = (a + a') \sin \xi.$$

Die Ausweichung eines von zwei ähnlich polariſirten und gleichfarbigen Strahlen gleichzeitig angeregten Aethermolecüls wird alſo bei übereinſtimmendem

Phaſenzuſtande der beiden Strahlen verſtärkt, und wenn die Schwingungsweiten a und a' gleich ſind, verdoppelt. Eine Folge dieſer verſtärkten Schwingungsweite iſt aber eine größere Intenſität des Lichtes, indem z. B. im letzteren Falle aus (6) die Intenſität $J = (a + a')^2 = 4a^2$ wird.

Iſt dagegen der Phaſenzuſtand der componirenden Syſteme entgegengeſetzt, iſt alſo $\beta = \pi, = 3\pi, = 5\pi \ldots$, ihr Gangunterſchied alſo einer ungeraden Anzahl von halben Wellenlängen gleich, ſo hat man aus (5):

$$S = (a - a') \sin \xi,$$

und, wenn die Schwingungsweiten a und a' gleich ſind:

$$S = 0.$$

Zwei ähnlich polariſirte und gleichfarbige Lichtſtrahlen von entgegengeſetztem Phaſenzuſtande und von gleicher Schwingungsweite bringen alſo bei ihrem Zuſammentreffen (ihrer Interferenz) ein Aethermolecül, welches ſie gleichzeitig anregen, nicht aus ſeiner Gleichgewichtslage. Eine Folge dieſer Ruhe des Molecüls iſt aber Dunkelheit, indem alsdann aus (6) $J = (a - a')^2 = 0$ wird.

Iſt die Zahl der ähnlich polariſirten und gleichfarbigen Strahlen, die ein und daſſelbe Molecül anregen, größer als zwei, oder ſind deren unendlich viele vorhanden, wie z. B. in dem Brennpunkte der Objectivlinſe eines Fernrohres, wenn anders alle auf das Objectiv parallel einfallenden Strahlen gleichfarbig und ähnlich polariſirt ſind, ſo läßt ſich die reſultirende Schwingungsweite des Molecüls, und aus dieſer ſeine Lichtſtärke ganz in derſelben Weiſe beſtimmen. Würde ein und daſſelbe Molecül z. B. von drei Strahlen getroffen, deren Schwingungsgleichungen ſein mögen:

$$s' = a' \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x'}{\lambda}\right) = a' \sin (\xi - \beta')$$

$$s'' = a'' \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x''}{\lambda}\right) = a'' \sin (\xi - \beta'')$$

$$s''' = a''' \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x'''}{\lambda}\right) = a''' \sin (\xi - \beta'''),$$

ſo iſt die reſultirende Ausweichung:

$$S = s' + s'' + s'''$$
$$= \sin \xi (a' \cos \beta' + a'' \cos \beta'' + a''' \cos \beta''') - \cos \xi (a' \sin \beta' + a'' \sin \beta'' + a''' \sin \beta'''),$$

oder, wenn man, wie bei zwei componirenden Syſtemen,

$$(7) \quad a' \cos \beta' + a'' \cos \beta'' + a''' \cos \beta''' = \int a \cos \beta = A \cos \gamma$$

$$(8) \quad a' \sin \beta' + a'' \sin \beta'' + a''' \sin \beta''' = \int a \sin \beta = A \sin \gamma$$

ſetzt:

$$S = A \sin (\xi - \gamma)$$

und die Intenſität

$$(9) \quad J = A^2 = (\int a \cos \beta)^2 + (\int a \sin \beta)^2$$
$$= (a' \cos \beta' + a'' \cos \beta'' + a''' \cos \beta''')^2 + (a' \sin \beta' + a'' \sin \beta'' + a''' \sin \beta''')^2,$$

der Winkel γ aber beſtimmt durch die Gleichung:

$$\operatorname{tgs} \lambda = \frac{\int a \sin \beta}{\int a \cos \beta}.$$

Sind allgemein $n+1$ componirende Systeme vorhanden, und bilden ihre Phasen die arithmetische Reihe

$$\xi-\beta',\ \xi-\beta'-\varepsilon,\ \xi-\beta'-2\varepsilon\ldots\ldots\xi-\beta'-n\varepsilon,$$

während sie alle dieselbe Schwingungsweite A haben, so daß in (7) und (8) $\beta'=\beta'$, $\beta''=\beta'+\varepsilon$, $\beta'''=\beta'+2\varepsilon\ldots$. und $a'=a''=a'''\ldots\ldots=A$, wie dies bei der Anwendung dieser Formeln der Fall sein wird, so ist:

$$(10)\quad \int A\cos\beta = A\left\{\cos\beta'+\cos(\beta'+\varepsilon)\ldots.+\cos(\beta'+n\varepsilon)\right\}$$

$$=\frac{A\sin(n+1)\frac{\varepsilon}{2}}{\sin\frac{\varepsilon}{2}}\cos\left(\beta'+\frac{n\varepsilon}{2}\right)$$

$$(11)\quad \int A\sin\beta = A\left\{\sin\beta'+\sin(\beta'+\varepsilon)\ldots.+\sin(\beta'+n\varepsilon)\right\}$$

$$=\frac{A\sin(n+1)\frac{\varepsilon}{2}}{\sin\frac{\varepsilon}{2}}\sin\left(\beta'+\frac{n\varepsilon}{2}\right),$$

folglich

$$(12)\qquad J=\left(\int A\cos\beta\right)^2+\left(\int A\sin\beta\right)^2$$

$$=\frac{A^2\sin^2(n+1)\frac{\varepsilon}{2}}{\sin^2\frac{\varepsilon}{2}}.$$

$$S=J^{1/2}\sin(\xi-\gamma)=\frac{A\sin(n+1)\frac{\varepsilon}{2}}{\sin\frac{\varepsilon}{2}}\sin(\xi-\gamma)$$

$$\operatorname{tgs}\gamma=\frac{\int A\sin\beta}{\int A\cos\beta}=\operatorname{tgs}\left(\beta'+\frac{n\varepsilon}{2}\right),$$

so daß $\gamma=\beta'+\frac{n\varepsilon}{2}$, und daher auch:

$$(13)\qquad S=\frac{A\sin(n+1)\frac{\varepsilon}{2}}{\sin\frac{\varepsilon}{2}}\sin\left(\xi-\beta'-\frac{n\varepsilon}{2}\right).$$

Haben endlich $m+1$ zusammentreffende Strahlen die Schwingungsgleichungen:

$$(14)\qquad \begin{aligned} s' &= A \sin \varphi' \sin (\xi - \beta') \\ s'' &= A \sin (\varphi' + \eta) \sin (\xi - \beta' - \vartheta) \\ s''' &= A \sin (\varphi' + 2\eta) \sin (\xi - \beta' - 2\vartheta) \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots \\ s\,m+1 &= A \sin (\varphi' + m\eta) \sin (\xi - \beta' - m\vartheta) \end{aligned}$$

so ist

$$\int A \cos \beta = A \sin \varphi' \cos \beta' + A \sin (\varphi' + \eta) \cos (\beta' + \vartheta) \ldots.$$

$$\int A \sin \beta = A \sin \varphi' \sin \beta' + A \sin (\varphi' + \eta) \sin (\beta' + \vartheta) \ldots,$$

Da aber

$$\sin \mu \cos \nu = \frac{1}{2} \sin (\nu + \mu) - \frac{1}{2} \sin (\nu - \mu)$$

$$\sin \mu \sin \nu = \frac{1}{2} \cos (\nu - \mu) - \frac{1}{2} \cos (\nu + \mu),$$

so ist auch:

$$\int A \cos \beta = \frac{A}{2} \left\{ \begin{array}{l} \sin (\beta' + \varphi') + \sin (\beta' + \varphi' + \vartheta + \eta) \ldots. \\ -\sin (\beta' - \varphi') - \sin (\beta' - \varphi' + \vartheta - \eta) \ldots, \end{array} \right\}$$

$$\int A \sin \beta = \frac{A}{2} \left\{ \begin{array}{l} \cos (\beta' - \varphi') + \cos (\beta' - \varphi' + \vartheta - \eta) \ldots. \\ -\cos (\beta' + \varphi') - \cos (\beta' + \varphi' + \vartheta + \eta) \ldots. \end{array} \right\}$$

und wenn man diese Reihen nach den Formeln in (11) und (10) summirt, indem man $\beta' + \varphi'$ oder $\beta' - \varphi'$ statt β', $\vartheta + \eta$ oder $\vartheta - \eta$ statt ε, und m statt n setzt:

$$\int A \cos \beta = \frac{A}{2} \left\{ \frac{\sin \left(\frac{1}{2} (m+1) (\vartheta + \eta) \right)}{\sin \frac{\vartheta + \eta}{2}} \sin \left(\beta' + \varphi' + \frac{m}{2} (\vartheta + \eta) \right) \right.$$

$$\left. - \frac{\sin \left(\frac{1}{2} (m+1) (\vartheta - \eta) \right)}{\sin \frac{\vartheta - \eta}{2}} \sin \left(\beta' - \varphi' + \frac{m}{2} (\vartheta - \eta) \right) \right\}$$

$$\int A \sin \beta = \frac{A}{2} \left\{ \frac{\sin \left(\frac{1}{2} (m+1) (\vartheta - \eta) \right)}{\sin \frac{\vartheta - \eta}{2}} \cos \left(\beta' - \varphi' + \frac{m}{2} (\vartheta - \eta) \right) \right.$$

$$\left. - \frac{\sin \left(\frac{1}{2} (m+1) (\vartheta + \eta) \right)}{\sin \frac{\vartheta + \eta}{2}} \cos \left(\beta' + \varphi' + \frac{m}{2} (\vartheta + \eta) \right) \right\},$$

so daß endlich die Intensität

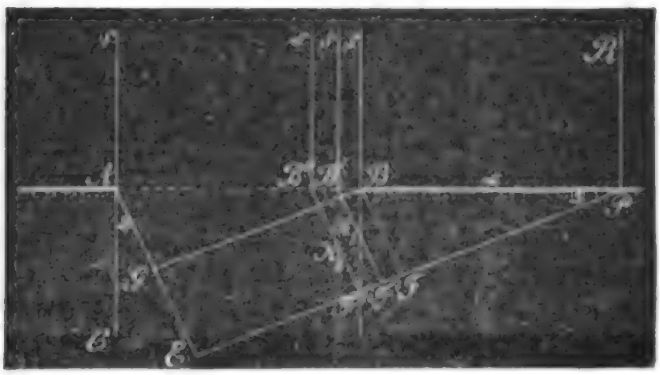
$$(15)\qquad J = (\int A\cos\beta)^2 + (\int A\sin\beta)^2$$

$$= \frac{A^2}{4}\left\{\frac{\sin^2\left(\frac{1}{2}(m+1)(\vartheta+\eta)\right)}{\sin^2\frac{\vartheta+\eta}{2}} + \frac{\sin^2\left(\frac{1}{2}(m+1)(\vartheta+\eta)\right)}{\sin^2\frac{\vartheta-\eta}{2}}\right.$$

$$\left. - \frac{2\sin\left(\frac{1}{2}(m+1)(\vartheta+\eta)\right)\sin\left(\frac{1}{2}(m+1)(\vartheta-\eta)\right)}{\sin\frac{\vartheta+\eta}{2}\sin\frac{\vartheta-\eta}{2}}\cos(2\varphi' + m\eta)\right\}.$$

Die Gleichungen (9), (12), (13) und (15) ſind es namentlich, durch welche man die Geſtalt und Farbe der von Frauenhofer, John Herſchel und Schwerd beobachteten Beugungsfiguren als nothwendig in der Undulationstheorie begründet nachweiſen kann. Wir wollen wenigſtens für einen Fall dieſen Nachweis hier führen, und wählen dazu die Beugung durch eine Spalte, da die hier auftretenden Phänomene als Fundamentalphänomene angeſehen werden können.

Es ſei wieder AB (ſ. die Figur) der horizontale Querſchnitt einer engen verticalen Spalte, $AB = \beta$, s die entfernte homogene Lichtquelle und BF, AE... eine beliebige Richtung der gebeugten Strahlen. Senkrecht gegen dieſe Strahlen



werde durch einen beliebigen Punkt P des Schirmes, in welchem die Spalte angebracht iſt, eine Ebene gelegt, welche Normalebene heißen mag, deren Projection PE und deren Durchſchnittslinie mit dem Schirme PR ſei. Dieſe Normalebene bilde mit dem Schirme den Winkel $FPB = \vartheta$, welcher dem Winkel EAC, den die einfallenden Strahlen mit dem gebeugten machen, gleich iſt, und deshalb der Ablenkungswinkel heiße. Endlich werde die Entfernung des Punktes P von dem Rande B der Oeffnung mit α bezeichnet.

Man denke ſich nun die Breite β der Spalte in unendlich viele $(n+1)$ gleiche Theile $d\beta$ getheilt, deren Mittelpunkte der Reihe nach in B', B'' ꝛc. liegen mögen, und von denen jeder einem Aethermolecül entſpreche, ziehe aus dieſen Punkten die Senkrechten $B'F' = k_1$, $B''F'' = k_2$... auf die Normalebene, und man hat:

$$k_1 = \left(\alpha + \frac{d\beta}{2}\right) \sin \vartheta$$

$$k_2 = (\alpha + \frac{d\beta}{2} + d\beta) \sin \vartheta$$

. . . . . .

$$k_{n+1} = (\alpha + \frac{d\beta}{2} + n . d\beta) \sin \vartheta,$$

eine arithmetiſche Reihe mit der Differenz $d\beta . \sin \vartheta$. Da die Entfernung von der Lichtquelle bis zum Schirme für alle unter dem Winkel ϑ gebeugten Strahlen dieſelbe iſt, ſo hängt ihr Phaſenunterſchied nur von dem Unterſchiede der Wege $k_1, k_2 \ldots$ ab. Derſelbe Phaſenunterſchied, den die Strahlen in der Normalebene PE haben, bleibt ihnen aber auch bei ihrem Zuſammentreffen in dem ihrer Richtung zugehörigen Brennpunkte der Objectivlinſe des Fernrohrs, da der Weg von der Normalebene bis zu dieſem Brennpunkte, der ſich nur auf centrale Strahlen beziehen kann, für ſie alle derſelbe iſt. Man braucht alſo, wenn man die Intenſität des dem Ablenkungswinkel ϑ zugehörigen Bildes berechnen will, nur den Phaſenunterſchied der Strahlen in der Normalebene zu berückſichtigen. Iſt aber x die Entfernung eines Aethermolecüls von der Lichtquelle, ſo iſt $2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$ ſeine Phaſe. Da nun die Entfernungen der Aethermolecüle F', F'', ... von der Lichtquelle in arithmetiſcher Progreſſion mit der Differenz $d\beta . \sin \vartheta$ wachſen, ſo bilden auch ihre Phaſen eine arithmetiſche Progreſſion mit der Differenz $-\frac{2\pi}{\lambda} d\beta . \sin \vartheta = -2\pi\lambda^{-1} d\beta . \sin \vartheta$ und es iſt daher, wenn man in (12)

$$\varepsilon = 2\pi\lambda^{-1} d\beta . \sin \vartheta$$

ſetzt, die Lichtſtärke, welche aus dem Zuſammentreffen aller, zu dem horizontalen Durchſchnitte AB der Spalte gehörigen, und unter dem Winkel ϑ abgelenkten Strahlen im Brennpunkte des Fernrohrs reſultirt:

$$J = A^2 \left[\frac{\sin(\pi\lambda^{-1}(n+1) d\beta . \sin\vartheta}{\sin(\pi\lambda^{-1} d\beta . \sin\vartheta)}\right]^2,$$

und wenn man im Nenner ſtatt des Sinus des wegen $d\beta$ unendlich kleinen Bogens dieſen ſelbſt, $(n+1) d\beta = \beta$, alſo $d\beta = \frac{\beta}{n+1}$ ſetzt:

$$J = \left\{(n+1) A\right\}^2 \left[\frac{\sin(\pi\lambda^{-1}\beta \sin\vartheta)}{\pi\lambda^{-1}\beta \sin\vartheta}\right]^2,$$

worin $(n+1)^2 A^2$ die Intenſität des ungebeugt durchgehenden Lichtes bedeutet, weil für dieſes $\vartheta = 0$, und der zweite Factor $= 1$ wird, da der Sinus eines unendlich kleinen Bogens dieſem ſelbſt gleich geſetzt werden kann. Es iſt alſo A die Schwingungsweite eines einzigen Aethermolecüls im ungebeugten Bilde, weil $(n+1)$ ſolcher Molecüle zu dem ganzen horizontalen Durchſchnitt AB der Spalte gehören. Um daher die der ganzen Spalte, deren Höhe man ſich auch in unendlich viele $(m+1)$ Theile getheilt denke, zugehörige Intenſität des ungebeugten Lichtes zu erhalten, muß man das Quadrat des Productes von A mit $(n+1)(m+1)$

nehmen, und hat alſo die Intenſität des durch die ganze Spalte gebeugten Lichtes:

$$(16) \qquad J = \left\{(n+1)(m+1)A\right\}^2 \left[\frac{\sin(\pi\lambda^{-1}\beta\sin\vartheta)}{\pi\lambda^{-1}\beta\sin\vartheta}\right]^2.$$

Die Intenſitätsformel (12), aus der dieſe Gleichungen gefolgert ſind, iſt zwar nur für ähnlich polariſirte Strahlen, nicht aber für natürliche, wie man ſie gewöhnlich anzuwenden pflegt, berechnet; es wird indeß dadurch, daß man das einfallende Licht als natürliches annimmt, in der verhältnißmäßigen Intenſität des ganzen Beugungsbildes deshalb nichts geändert, weil dieſe lediglich abhängig von dem Gangunterſchiede der beiden ſenkrecht auf einander polariſirten Strahlenbündel, die man bekanntlich ſtatt eines natürlichen ſubſtituiren kann, nach dem Durchgange durch die beugende Oeffnung und durch die Objectivlinſe des Fernrohrs ein und dieſelbe iſt.

Die Gleichung (16) wird Null, ſo oft der Zähler des Bruches, nicht aber zugleich der Nenner deſſelben Null wird. Die Lichtſtärke wird alſo im Beugungsbilde vernichtet ſein, wenn

$$\pi\lambda^{-1}\beta\sin\vartheta = 2p\frac{\pi}{2}, \text{ oder}$$

$$(17) \qquad \beta\sin\vartheta = 2p\frac{\lambda}{2},$$

und p eine beliebige ganze Zahl mit Ausſchluß der Null iſt, weil für $p = o$ der zweite Factor in (16) den Werth 1 erhalten würde. Es finden dagegen Maxima der Lichtſtärke ſtatt, ſo oft, wenn p eine beliebige ganze Zahl mit Einſchluß der Null bedeutet:

$$\pi\lambda^{-1}\beta\sin\vartheta = (2p+1)\frac{\pi}{2}, \text{ oder}$$

$$(18) \qquad \beta\sin\vartheta = (2p+1)\frac{\lambda}{2},$$

da dann $\sin(\pi\lambda^{-1}\beta\sin\vartheta)$ den Werth ± 1 hat. Es iſt aber, wenn in obiger Figur aus B die Senkrechte BG auf die gebeugten Strahlen gezogen wird, $\beta\sin\vartheta = AG$, und daher treten — wie auch in der allgemeinen Erläuterung gefunden wurde — die Minima der Lichtſtärke ein, ſo oft dieſer Unterſchied eine gerade Anzahl halber, oder, was Daſſelbe iſt, eine beliebige Anzahl ganzer Wellenlängen, die Maxima dagegen, wenn derſelbe Unterſchied eine ungerade Anzahl halber Wellenlängen beträgt.

Aus den Gleichungen (16) und (18) geht ferner hervor, daß ſich die Lichtſtärke in den Maximis, für welche in (16) der Zähler des Bruches 1 iſt, umgekehrt wie die Quadrate der ungeraden Zahlen $2p+1$ verhalten, daß alſo die Intenſität des zweiten, dritten ꝛc. Seitenſpectrums 9 Mal, 25 Mal ꝛc. ſchwächer iſt, als die des erſten.

Die numeriſche Größe der Lichtſtärke eines jeden Spectrums, wenn die Intenſität $\left\{(n+1)(m+1)A\right\}^2$ des ungebeugten Lichtes $= 1$ geſetzt wird, erhält man aus (18) für die entſprechenden Werthe von p. Iſt z. B. $p = o$, und der Unterſchied in den Wegen der Randſtrahlen eine halbe Wellenlänge, alſo

$\beta \sin \vartheta = \frac{\lambda}{2}$, so ist aus (16) $J = \frac{\sin \frac{2\pi}{2}}{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2} = 0{,}4053$. Mehrere andere Intensitätswerthe, für welche das Wachsen des Unterschiedes in den Wegen der Randstrahlen immer eine halbe Wellenlänge beträgt, enthält folgende Tabelle:

Werthe von $\pi \lambda^{-1} \beta \sin \vartheta$	Unterschied in den Wegen der Randstrahlen	Lichtstärke
0^0	0	1,0000
90^0	$\frac{\lambda}{2}$	0,4053
180^0	λ	0,0000
270^0	$\frac{3\lambda}{2}$	0,0450
360^0	2λ	0,0000
450^0	$\frac{5\lambda}{2}$	0,0162
540^0	3λ	0,0000
630^0	$\frac{7\lambda}{2}$	0,0082
720^0	4λ	0,0000
810^0	$\frac{9\lambda}{2}$	0,0050
900^0	5λ	0,0000

aus der man ersieht, daß die Lichtintensität in dem fünften Maximum nur noch $\frac{5}{1000}$ von der des ungebeugt durchgehenden Lichtes beträgt, daß also die folgenden Spectra kaum noch bemerkbar sein werden.

Da der Ablenkungswinkel ϑ, der selbst für einen Gangunterschied der Randstrahlen von mehreren Wellenlängen einen so kleinen Werth hat, daß man ihn statt seines Sinus nehmen kann, gleich ist dem Winkel, welchen der ungebeugte Strahl nach seinem Durchgange durch die Objectivlinse mit dem ebenfalls durch diese gegangenen gebeugten bildet, so entspricht er der Entfernung irgend einer Stelle des Beugungsbildes von der Mitte desselben aus gerechnet, also auch der Entfernung, in welcher die Maxima und Minima erscheinen. Es wird aber, wenn man ϑ statt $\sin \vartheta$ nimmt, aus (17) $\vartheta = \frac{p\lambda}{\beta}$ für die Minima, so daß die Entfernung des ersten Minimums von der Mitte des Bildes $= \frac{\lambda}{\beta}$, die Ent-

fernung des zweiten Minimums von dem ersten $= \frac{2\lambda}{\beta} - \frac{\lambda}{\beta} = \frac{\lambda}{\beta}$, die des dritten von dem zweiten $= \frac{3\lambda}{\beta} - \frac{2\lambda}{\beta} = \frac{\lambda}{\beta} \ldots$, diese Entfernungen sich also nicht allein wie die Wellenlängen der jedesmaligen Farbe, sondern auch umgekehrt, wie die Breite β der Spalte verhalten. Je schmaler man also den Spalt nimmt, desto größer werden die von dunklen Stellen unterbrochenen Spectra, von denen die gleichvielten bei einer rothen Lichtquelle deshalb weiter, als bei jeder anderen homogenen Farbe von der Mitte des ganzen Bildes entfernt liegen müssen, weil die Wellenlängen des rothen Lichtes die größten sind.

Die Beugungsfigur einer Spalte für nicht homogenes, sondern weißes Licht, ergiebt sich nun in der Weise, wie bereits oben ausgeführt ist. Die von der Mitte der Figur entferntesten Säume eines jeden einzelnen Spectrums müssen roth, und die der Mitte nächsten violett sein, während die übrigen Farben nach ihren Wellenlängen zwischen diesen Grenzsäumen sich zeigen, weil die Entfernungen einer jeden gebeugten Farbe von der Mitte der ganzen Beugungsfigur ihrer Wellenlänge proportional sind.

Es ist oben Moon erwähnt worden, als ein Zweifler an der Richtigkeit der von Fresnel aufgestellten Principien. Hier müssen wir in der Kürze noch näher darauf eingehen.

Moon *) findet die Idee von den Elementarwellen, welche Fresnel seinen Entwickelungen zum Grunde gelegt hat, anstößig, namentlich hält er es für völlig unbegreiflich, wie von jedem Punkte der Oberfläche einer Welle eine neue Welle sich verbreiten könne, und erklärt daher die Statuirung von Elementarwellen für eine eigene von den Grundvoraussetzungen der Undulationstheorie völlig unabhängige Hypothese, da er doch nicht umhin kann die Richtigkeit dieser Theorie in Beziehung auf viele wesentliche Theile der Optik anzuerkennen. Inzwischen dürfte Mancher eine solche Unabhängigkeit einzuräumen Anstand nehmen.

Ist nämlich a ein Lichtpunkt, A die Oberfläche einer durch dessen Vibrationen erzeugten Lichtwelle, und b ein in meßbarer Entfernung außerhalb der Fläche A liegendes Aethertheilchen, so wird offenbar keines der Theilchen, welche in dem von A umschlossenen Raume liegen, eine Bewegung an b mittheilen können, als indem es zunächst die auf dem Wege liegenden Theilchen von A in Bewegung setzt, und diese den erhaltenen Impuls wieder nach b hinschicken. Ist nun die Bewegung der Theilchen in A eine vibrirende, wie die Bewegung von a eine war, so ist man auch genöthigt anzunehmen, daß sich auch von ihnen aus in ähnlicher Weise, wie von a, die Bewegung weiter verbreite, d. h. daß von ihnen, gleich wie von a, Wellen ausgehen, und daß daher die Bewegung von b sich aus dem Zusammenwirken dieser letzten (der sogenannten Elementarwellen) ableiten lasse.

---

*) On Fresnel's theory of diffraction. Phil. mag. T. XXVI. p. 89; T. XXVII. p. 46; vergl. die Fortschritte der Physik im Jahre 1845. Berlin 1847. S. 164.

Was Moon's Ausstellungen gegen die Fresnel'schen Formeln betrifft, die er voller Widersprüche und Ungereimtheiten findet, so erledigen sich diese zum Theil daraus, daß er nicht Fresnel's Original-Abhandlungen benutzt hat, und anderen Theils ergeben sich dieselben, auch abgesehen hiervon, als völlig unbegründet, fallen sogar zum Theil zu Fresnel's Gunsten aus.

Statt Fresnel's Hypothese stellt Moon nun die Ansicht auf, daß die Wellen beim Vorbeigehen an den Kanten beugender Körper — in Folge des Einflusses, welchen das Hinderniß auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ausübt — ihre Form ändern, daß dadurch ein Schneiden der auf einander folgenden Wellen, und in den Durchschnittspunkten eine Interferenz veranlaßt würde. Daß das Durchkreuzen einer Welle durch eine nachfolgende desselben Systems einen Widerspruch in sich schließt, hat Moon nicht gemerkt. Welcher Art auch der Einfluß der Kante des dunklen Körpers sein mag, immer muß er für alle Wellen derselbe sein. Wie sich dies mit der Vorstellung eines Schneidens reimt, müßte also vorher erklärt werden.

C. Inflexion der Wärme.

Die Uebereinstimmung, welche die strahlende Wärme in ihren Gesetzen mit dem Lichte zeigt (vergleiche Artikel Wärme), machte es mehr denn wahrscheinlich, daß die Wärmestrahlen auch in Beziehung auf Interferenz und Beugung dem Gange des Lichtes folgen werden. Der experimentelle Nachweis ist hier von derselben Wichtigkeit wie bei dem Lichte, denn nur durch denselben wird die Annahme einer Wellenbewegung, welche den Wärmephänomenen zu Grunde zu legen ist, außer Zweifel gestellt.

Der erste, welcher hierauf bezügliche Experimente anstellte, war Matteuci *); es verdienen dieselben indessen kein Vertrauen, und daher möge diese Notiz genügen. Den ersten directen und entscheidenden Nachweis durch die Beobachtung für die in Rede stehende Erscheinung lieferte Knoblauch 1846 **); fast gleichzeitig gelang dieser Nachweis jedoch auch Fizeau und Foucault ***) und später fügte auch A. Seebeck ****) noch entscheidende Beobachtungen hinzu, so daß jetzt die Thatsache als festgestellt anzusehen ist.

Knoblauch ließ Sonnenlicht durch einen schmalen Spalt dringen und maß die Wirkung der von der Sonne ausgehenden Wärmestrahlen bei ihrer Ausbreitung durch eine lineare Thermosäule. Hierbei ergab sich, daß die Ausbreitung der Wärmestrahlen bei Verengerung der Spalte nur bis zu einer gewissen Grenze vermindert wird, von da an aber beständig zunimmt, bis der Schnitt vollkommen geschlossen ist. Dies kann nur von einer Beugung herrühren. Er fand, daß die

*) Annali delle Scienze 1832. Apr. Biblioth. univers. 1831. T. L. p. 1; 1834. T. LVII. p. 74. Vergl. Pogg. Ann. Bd. XXVII. S. 462; Bd. XXXV. S. 558 und die Bemerkungen von Biot, ebenda: Bd. XXVII. S. 465 und von Nobili Bd. XXXVI. S. 537.

**) Monatsberichte der Berliner Akad. 1847. Octobr. S. 391—395; vergl. Pogg. Ann. Bd. LXXIV. S. 9.

***) Compt. rend. T. XXV. p. 447. Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 462.

****) Pogg. Ann. Bd. LXXVII. S. 474.

Ausbreitung der Wärmeſtrahlen hinter dem Spalte beſtändig größer iſt, als ſie im Falle einer geradlinigen Begrenzung ſein würde. Die abſolute Differenz zwiſchen der wirklichen und der als geradlinig berechneten Ausbreitung der Wärmeſtrahlen zeigte ſich im weiteren Abſtande vom Spalte größer, als in geringerer Entfernung von dieſer. Dieſe Abweichung iſt deſto größer, je mehr man die Weite des Schnittes, durch welchen die Strahlen hindurchgehen, vermindert. Die Ausbreitung der Wärmeſtrahlen hinter dem Schnitte übertrifft die als geradlinig berechnete in deſto höherem Grade, je weiter derſelbe von der linearen Wärmequelle entfernt iſt.

Wir bemerken noch, daß dieſe Verſuche nur mit Sonnenlichte gelangen und nicht mit anderen Wärmequellen, namentlich erwies ſich ein durch den galvaniſchen Strom glühend gemachter Platindraht unwirkſam. Es laſſen übrigens dieſe Verſuche, wiewohl ſie die ſeitliche Ausbreitung der Strahlen auch in Bezug der Wärmewirkung nachweiſen, eine den Lichtfranſen entſprechende Zu- und Abnahme der Intenſität nicht erkennen.

Fizeau und Foucault fanden andere Licht- und Wärmequellen als das Sonnenlicht ebenfalls zu ſchwach und experimentirten daher nur mit dieſem. Sie bedienten ſich eines Weingeiſtthermometers, deſſen Kugel nur 1,1 Millim. Durchmeſſer hatte, an welchem aber der Centigrad durch Mikroſkop und Mikrometer noch in 400 gleiche Theile getheilt wurde. Das Ergebniß ihrer Unterſuchung war folgendes:

1) In den Franſen, erzeugt mittelſt zweier gegen einander geneigter Spiegel, ergaben ſich Wärmefranſen von ähnlichen Dimenſionen, wie die Lichtfranſen.
2) Bei Spectren mit hellen und dunklen Streifen, erhalten durch prismatiſche Zerlegung der Interferenzphänomene, welche in polariſirtem Lichte durch Kryſtallplatten erzeugt werden, ergab ſich, daß in dem ſichtbaren Spectrum die Wärme wie das Licht vertheilt iſt, daß die Mitte der hellen Streifen ein Maximum und die Mitte der dunklen ein Minimum der Wärme darbietet. Auch konnten hier die dunklen Wärmeſtrahlen ſtudirt werden, welche Herſchel jenſeits des rothen Endes des ſichtbaren Spectrums entdeckt hat. In der Gegend des unſichtbaren Spectrums iſt die Vertheilung analog, und man beſtimmte die Lage von vier nicht warmen Streifen, getrennt durch Wärmeſtreifen.
3) Bei Diffraction, erzeugt durch einen einzigen geradlinigen Rand, iſt das Phänomen ſehr ſchwach; doch zeigte ſich, daß in dem von der erſten hellen Franſe eingenommenen Raum eine Wärmediffractionsfranſe vorhanden iſt, in welcher die Temperatur höher iſt, als in den Punkten, zu denen die Strahlen, unmodificirt durch den Schirm, direct gelangen.

Seebeck leitete das Sonnenlicht durch einen belegten Glasſpiegel in die dunkle Kammer, ließ daſſelbe, da es mehr auf Stärke, als auf Homogenität ankam, durch eine $1^1/_4$ Zoll breite Spalte gehen und fing es 10 Fuß hinter derſelben mit einem Fernrohre auf, vor deſſen Objectiv ſich ein ſehr feines Stabgitter (mit ungefähr 100 Spalten auf 1 Par. Lin.) befand. Das aus dem Oculare des Fernrohres getretene Licht wurde auf der Wand aufgefangen und ſo das Gitterſpectrum objectiv und beliebig vergrößert dargeſtellt. In der Mitte zeigte

ſich dann ein ſcharf begrenztes weißes Feld, zu beiden Seiten ein dunkler Raum, darauf folgte das erſte Spectrum ꝛc. Dieſe Theile wurden in einem paſſenden Abſtande durch die ſchwarze Kugel eines Leslie'ſchen Photometers aufgefangen, deſſen Kugel über 1 Zoll Durchmeſſer hatte. Nun beobachtete Seebeck in 5 Stellungen: 1) in dem mittleren weißen Felde; 2) und 3) in dem dunklen Raume rechts und links von der Mitte; 4) und 5) im erſten Spectrum rechts und links. Die Einſtellung geſchah nicht durch Rücken des Photometers, ſondern durch Drehen des Fernrohrs.

Das weiße Feld erzeugte eine recht wohl bemerkbare Erwärmung, das erſte Spectrum eine ungefähr halb ſo große, dagegen der dunkle Zwiſchenraum eine entſchieden geringere. Es wurden die beiden letzten Stände abwechſelnd ſehr oft beobachtet und ſtets mit gleichem Erfolge. H. E.

Inflexioskop, ſ. Chromadot.

Inklination, ſ. Neigung der Magnetnadel.

Inklinatorium (v. d. griech. *κλίνω*, ich neige) oder Inklinationsnadel (acus inclinatoria, boussole d'inclinaison, dipping needle) iſt ein Apparat, deſſen man ſich bedient, die Neigung der Magnetnadel (ſ. d. Art.) zu beobachten.

Kommt es nur darauf an die Thatſache der Neigung der Magnetnadel nachzuweiſen, ſo iſt folgender Apparat ſehr geeignet. An einem meſſingenen Rahmen (ſ. beiſtehende Figur), welcher an einem ungedrehten Faden aufgehängt iſt, befindet

ſich eine ſehr leicht bewegliche Are a b, welche durch den vor dem Magnetiſiren ermittelten, Schwerpunkt einer Magnetnadel geht. Um die Are recht beweglich zu machen, iſt es zweckmäßig bei a und b zwei Schrauben von Stahl anzubringen, an deren Spitze eine kegelförmige Vertiefung ſich befindet, deren Spitze aber einen ſtumpferen Winkel bildet, als die kegelförmige Spitze der Are. Die beiden Schrauben werden dann ſo weit hineingedreht, daß die Spitzen der Are im Grunde der Höhlungen liegen, ohne jedoch an die Schrauben angedrückt zu werden.

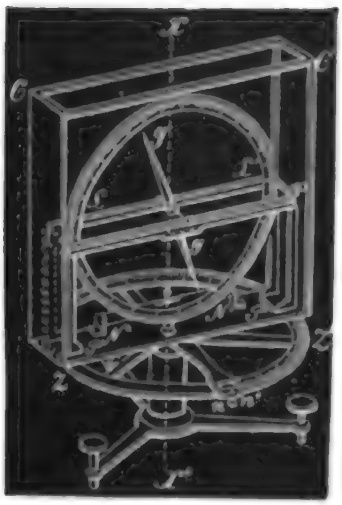
Es iſt klar, daß eine ſo aufgehängte Magnetnadel ſich um eine verticale und zugleich um eine horizontale Are drehen und ſomit dem Einfluſſe der Erde auf die Stellung der Nadel ganz frei folgen kann. Es ſtellt ſich daher die Nadel erſtens ſo, daß ihre Richtungslinie in den magnetiſchen Meridian trifft, und zweitens ſenkt ſich in unſeren Gegenden das nach Norden gerichtete Ende der Nadel, ſo daß die Richtungslinie der Nadel mit der Horizontalen einen Winkel, den Inklinations- oder Neigungswinkel bildet.

Soll jedoch der Apparat dazu dienen, die Größe des Neigungswinkels mit aller Schärfe zu beſtimmen, ſo reicht ſelbſtredend der eben angegebene Apparat nicht aus. Daß Daniel Bernoulli *) 1743 einen von der Pariſer Akademie

*) D. Bernoulli, mémoire sur la manière de construire les boussoles d'inclinaison pour faire avec le plus de précision qu'il est possible les observations de l'aiguille aimantée, tant sur mer que sur terre. Pièces de Prix de l'Acad. de Par. 5. Mem. 8.

der Wiſſenſchaften ausgeſetzten Preis, auf die beſte Conſtruction eines zu genauen Meſſungen geeigneten Apparates, gewann, ſei hier nur als hiſtoriſche Notiz erwähnt, da die Ausführung mit ſo viel Schwierigkeiten verknüpft war, daß ſelbſt die geſchickteſten mechaniſchen Künſtler nichts Vollkommenes zu liefern vermochten.

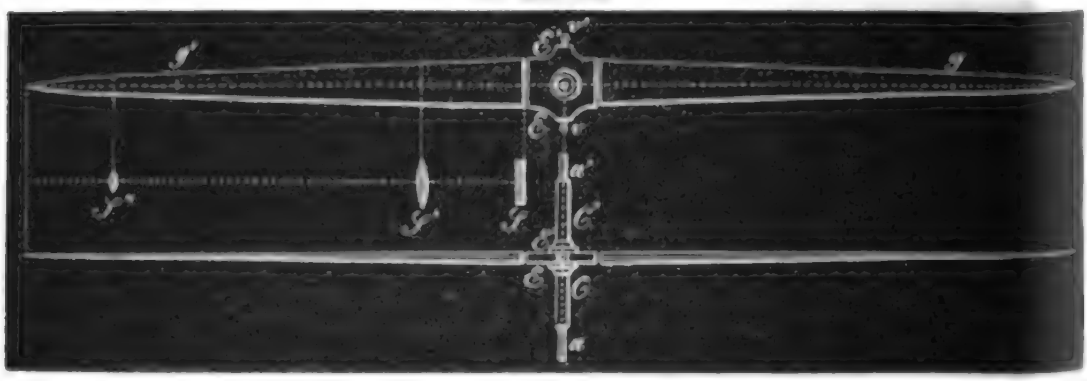
I.



Wir wenden uns gleich zu der Beſchreibung des Inklinatoriums, welches dem Zwecke am beſten entſpricht, und bemerken nur noch, daß es Borda*) geweſen iſt, welchem das Hauptverdienſt gebührt, dieſe Inſtrumente in Aufnahme gebracht zu haben.

Nebenſtehende Fig. I. zeigt die vollſtändige Inklinationsbouſſole; einzelne, beſonders wichtige, Theile ſtellen Fig. II., III. und IV. dar und zwar Fig. II. die Nadel g g, in der Breitenanſicht, Fig. III. der Dicke nach. Die Durchſchnitte S, S', S'' geben eine Vorſtellung von der Form derſelben. E E' iſt eine Art von Zwinge oder Kupferring, der ſich mit ſehr ſtarker Reibung um die Mitte der Nadel anpaßt; er trägt eine Axe von Kupfer C C', welche in 2 kleine Cylinder von polirtem Stahl a a'

II. und III.



ausläuft. Dieſe bilden die Drehungsaxe der Nadel. Die mathematiſche Axe a a' dieſer beiden Cylinder muß durch den Schwerpunkt der Nadel gehen. Dieſe Bedingung zu erfüllen wird der Ring gehörig geſtellt und in der genau abgepaßten Lage durch die beiden ſeitwärts angebrachten Schrauben v und v' befeſtigt.

IV.

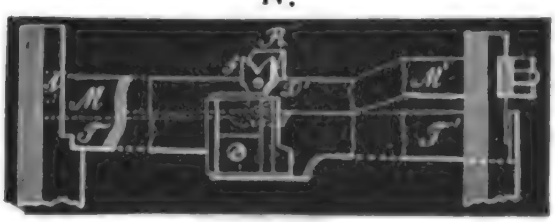


Fig. IV. zeigt eine Seite des Rechtecks, auf welchem die aufgeſtellte Nadel (Fig. I.) ruht, und iſt ein beſonders wichtiges Stück der Bouſſole. Die Fig. IV. zeigt eine Seite deſſelben vergrößert und in den Einzelheiten. Dies Rechteck iſt zu-

*) Gilb. Ann. Bd. IV. S. 449 u. allgem. geogr. Ephemer. 1799. S. 146.

ſammengeſetzt aus einem feſten Querſtücke T T', welches eine Schneide von Achat p p' trägt, und aus einem anderen Querſtücke M M', das um die Axe A beweglich iſt. Dieſes trägt eine Gabel f, welche die Drehungsaxe der Nadel aufnimmt, wenn man ſie nicht länger auf der Achatſchneide ruhen laſſen will, und einen Halter R, welcher das Gleiten der Axe auf der Gabel verhindert. Dieſe Vorrichtung iſt ſo angebracht, daß, ſo wie man die Gabel herabläßt, um die Beobachtung zu beginnen, die Axe der Nadel genau im Mittelpunkte des graduirten Kreiſes L L' (Fig. I.) ſich befindet und genau ſenkrecht auf der Ebene dieſes Kreiſes ſteht. Dieſer graduirte Kreis L L' ſteht ſenkrecht auf einer feſten Platte P P', welche auch das Geſtell des Rechtecks, ein Glasgehäuſe C C' und eine Richtwage N N' trägt. Alles dies iſt beweglich um eine Axe X X', deren Verlängerung durch den Mittelpunkt des Kreiſes L L' geht und mithin durch den Schwerpunkt der Nadel. Ein an die Platte P P' befeſtigter Nonius n n' durchläuft den Azimuthalkreis Z Z', um auf dieſem in jedem Augenblicke die Winkel meſſen zu können, um welche man den Kreis L L' verrückt hat.

Um die Schwierigkeiten bei der Herſtellung dieſes Inklinatoriums gehörig würdigen zu können, müſſen wir zunächſt uns über den Gebrauch deſſelben zur Ermittelung der Neigung im Allgemeinen verſtändigen. — Nachdem die Abweichung der Magnetnadel (ſ. d. Art.) oder die Richtung des magnetiſchen Meridians ſchon bekannt iſt, ſtellt man die Ebene des ſenkrechten Kreiſes L L' in dieſe Richtung. Alsbald ſtellt ſich die Nadel von ſelbſt in die Richtung der Neigung. Will man nicht abwarten, bis ſie ſich in dieſer Stellung fixirt hat, ſo beobachtet man, bis zu welchem Grade (am Kreiſe L L') die Nadel bei den kleinen Oscillationen, welche ſie macht, ausſchlägt, und nimmt aus dieſen das Mittel. Nach dieſem erſten Reſultate wendet man die Nadel ſo um, daß der vorher weſtlich gerichtete Theil der Drehungsaxe nun nach Oſten ſteht, ohne aber zugleich die Pole der Nadel umzuwenden, und ſtellt die Beobachtung wie vorher an. Durch dieſe Umwendung, indem man das zuerſt erhaltene Reſultat der Beobachtung mit dem zuletzt erhaltenen vergleicht, erhält man ein Mittel, diejenigen möglichen Fehler der Beobachtung zu verbeſſern, welche aus einer Ungleichmäßigkeit in der Magneti**ſ**irung der Nadel, oder nicht völligen Genauigkeit in der Unterſtützung des Schwerpunktes entſtehen können. Da aber dieſe beiden Quellen eines möglichen Irrthums nur erſt unvollkommen compenſirt ſind, ſo magnetiſirt man hierauf die Nadel im entgegengeſetzten Sinne, ſo daß das vorher nordpolariſche Ende zum ſüdpolariſchen wird, und macht noch zwei Beobachtungen, indem man wie vorher die Nadel ſeitwärts umwendet. Hierbei iſt jedoch zu bemerken, daß das Umkehren der Polarität immer ſchwieriger wird, je öfter es bereits an derſelben Nadel ausgeführt iſt. Das Mittel aus dieſen vier Beobachtungen giebt erſt genau die Neigung der Magnetnadel für den Ort der Beobachtung.

Die größte Schwierigkeit liegt nun bei der Herſtellung des Inklinatoriums darin, daß es faſt unmöglich iſt eine Magnetnadel zu verfertigen, deren Schwerpunkt genau in ihrer Axe liegt, weil ſchon bei der Bearbeitung der Nadel dieſelbe etwas magnetiſch wird. Man darf daher bei den Beobachtungen niemals unterlaſſen, die oben angegebenen Umwendungen der Nadel vorzunehmen. Die Nadel wird nach Baumgartner *) am beſten aus gutem Stahl in parallelepipediſcher

*) Die Naturlehre. Supplementband. 1831. S. 721.

Form gemacht, mit einer Länge von 10 Par. Zoll., einer Breite von 4 L., und einer Dicke von $^1/_4$ bis $^1/_3$ Linie. Bei dieſen Dimenſionen hat man weder zu befürchten, daß ſie ein zu großes Gewicht habe, noch daß ſie ſich biege. Zieht man auf beiden Seiten einer ſolchen Nadel eine gerade, durch die Drehungsaxe gehende, mit einer Kante parallele Linie, ſo kann dieſe als Merkzeichen dienen, wenn man es nicht vorzieht, nebſt dieſer auf die ganze Länge der Nadel ſich erſtreckenden Linie noch an jedem Ende mehrere andere zu ziehen, welche die Stelle eines Nonius vertreten können. Die Nadel ſpitzig zu machen, wie Viele thun, oder ſie aus zwei an den Baſen verbundenen Kegeln zuſammen zu ſetzen, wie Le Noir *) gethan, iſt minder rathſam, weil ſolche von obiger Form ſich beſſer und regelmäßiger magnetiſiren laſſen. Der Stahl muß gehärtet ſein, damit er die magnetiſche Polarität dauerhaft an ſich halte.

Die Axe, um welche ſich die Nadel drehen ſoll, muß genau cylindriſch ſein und auf der Ebene der Nadel ſenkrecht ſtehen. Es iſt gut, wenn ſie an beiden Enden in feine Spitzen ausläuft und mittelſt dieſer auf den Pfannen ruht. Sie wird aus Stahl gemacht und nur wenig gehärtet.

Die Pfannen müſſen aus Achatplatten beſtehen, die zur beſſeren Fixirung einer beſtimmten Lage der Nadel etwas ausgehöhlt ſein ſollen. Sie müſſen ſich durch beſondere Schrauben reguliren und in eine ſolche Lage bringen laſſen, daß die darauf gelegte Nadel ſich in der Ebene des getheilten Kreiſes bewegt und ihre Drehungsaxe genau durch den Mittelpunkt dieſes Kreiſes geht.

Von Wichtigkeit iſt es, daß die magnetiſche Axe der Nadel ihre Drehungsaxe ſchneide und mit ihren Kanten parallel laufe. Dieſes wird erreicht, wenn man beim Magnetiſiren gehörig verfährt. Zu dieſem Ende wird die Nadel in ein ebenes Bret eingelaſſen, und ihr zur Seite in paralleler Richtung eine etwas hervorſtehende gerade Leiſte angebracht, die dem zum Magnetiſiren gebrauchten Magnete zum Führer dient. Man thut am beſten, zu letzterem zwei gleiche, parallelepipediſche Stäbe anzuwenden, deren entgegengeſetzte Pole man auf die im Brete aufwärts gekehrte Fläche der Nadel ſo ſtellt, daß ſie dieſelbe der ganzen Breite nach decken und zugleich an jene Führleiſte anſtehen. Hat man ſie mit gleicher Stärke und Geſchwindigkeit einige Male hin- und hergeführt, ſo kehrt man die Nadel um und verfährt eben ſo mit der anderen Fläche derſelben. Um ſich zu überzeugen, daß die Nadel den nöthigen Grad des Magnetismus angenommen habe, ſoll man ſie nach dem Streichen in den Kreis einſetzen und ihren Stand beobachten, hiernach abermals einige Striche auf die vorher genannte Weiſe anbringen, und ihren Stand im Kreiſe wieder beobachten. Findet man im letzteren Falle die Neigung nicht größer, ſo hat die Nadel bereits den nöthigen Grad von Stärke erhalten. Doch darf man nicht vergeſſen, daß ſie dieſen Grad nicht immer behält, ſondern beſonders durch die Einwirkung der Wärme eine Schwächung erleidet.

Iſt die Nadel in Betreff aller bis jetzt beſprochenen Punkte in Ordnung, ſo muß man noch ihre Empfindlichkeit beurtheilen. Um dieſe kennen zu lernen, neigt man ſie, wenn die Axe in den Pfannen ruht, läßt ſie dann frei und ſieht zu, ob ſie wieder in den vorigen Stand kommt. Letzteres iſt für eine brauchbar ſein ſollende Nadel unerläßlich.

---

*) Gilb. Ann. Bd. IV. S. 449.

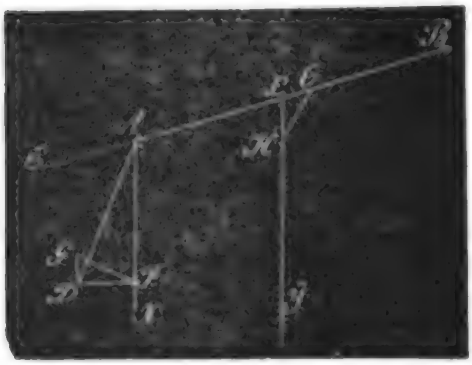
Eine fernere Operation bei Herſtellung des Inklinatoriums iſt das Juſtiren der Nadel, wodurch man unterſucht, ob ihr Schwerpunkt in der Axe liege oder nicht. Iſt nämlich die Nadel ſo weit ausgearbeitet, daß man ihr die Adjuſtirung zu geben hat, ſo glüht man ſie aus, um ihr allen Magnetismus zu nehmen, legt ſie dann mit der Axe in die dazu beſtimmten Pfannen und ſieht zu, ob ſie in jeder Lage im Gleichgewicht ſteht oder nicht. Dabei ſoll aber die Axe von Nord nach Süd gerichtet ſein, und daher die Nadel von Oſt nach Weſt ſich bewegen, damit ſie nicht etwa vom Erdmagnetismus eine ſchädliche Einwirkung während der Probe erfahre. Bleibt ſie da in jeder Lage im Gleichgewichte, ſelbſt nachdem man ſie verkehrt in die Pfannen gelegt, ſo kann man ſie als juſtirt anſehen; iſt dies nicht der Fall, ſo muß man da, wo es nöthig iſt, durch Wegſchleifen zu Hülfe kommen. Dies darf aber nicht mit einem ſtählernen Werkzeug geſchehen (ſo wie überhaupt die Nadel nicht weiter mit Stahl oder Eiſen berührt werden ſoll), ſondern man muß die überflüſſige Maſſe mittelſt eines Schleifſteines wegnehmen. Man darf nicht erwarten, auf ſolche Weiſe eine juſtirte Nadel zu erhalten; wohl aber wird man vorausſetzen können, daß ſich dadurch der Juſtirungsfehler bis auf eine ſehr kleine Größe vermindern läßt, und daß man ſich dann die Erlaubniß nehmen darf, das arithmetiſche Mittel aus der Neigung bei einer beſtimmten Magnetiſirung der Nadel und aus der bei der entgegengeſetzten Magnetiſirung als wahre Neigung anzuſehen, welches nicht der Fall wäre, wenn der Juſtirungsfehler eine merkliche Größe überſchritte.

Wenn oben bei Angabe des Gebrauches des Inklinatoriums eine Vorherbeſtimmung der Abweichung der Magnetnadel als erforderlich bezeichnet wurde, ſo war daſelbſt eben nur von dem Gebrauche im Allgemeinen die Rede. Verfolgen wir den Gegenſtand jetzt näher, ſo ſtellt ſich bald heraus, daß man die Vorherbeſtimmung der Abweichung umgehen, mithin erſparen kann. Da nämlich die Doppelkraft der Erde, welche auf die Nadel wirkt, in der Ebene des magnetiſchen Meridians enthalten iſt, ſo wird die Nadel niemals zur Abweichung aus dieſer Ebene beſtimmt. Wenn daher die Ebene des Kreiſes LL', in welcher ſich die Nadel nur bewegen kann, nicht mit der Ebene des magnetiſchen Meridians zuſammenfällt, ſondern rechtwinkelig dieſelbe ſchneidet, ſo wird ſich die Nadel ſtets in die Richtung der Linie ſtellen, in welcher die Ebene des Kreiſes LL' und die Ebene des magnetiſchen Meridians ſich ſchneiden, alſo vertical ſtehen. Man drehe daher die Ebene des Kreiſes LL' erſt ſo, daß die Nadel vertical ſteht, und hierauf ſtelle man den Kreis LL' ſo ein, daß er eine Stellung einnimmt, welche mit der vorhin beobachteten einen Winkel = 90° macht (die Meſſung des Winkels geſchieht am Azimuthalkreiſe), ſo hat man die Ebene deſſelben ſicher in die Richtung des magnetiſchen Meridians geſtellt. — Noch einfacher iſt es, durch einige Verſuche dasjenige Azimuth zu beſtimmen, bei welchem die Nadel die geringſte Neigung hat. Dieſe kleinſte Neigung iſt die wahre magnetiſche Neigung der Magnetnadel, denn nach jeder Seite hin weicht die Nadel nach der verticalen Richtung zu ab.

Ueber die Einrichtung der von Kupffer angegebenen und von Gambey ausgeführten Inklinationsnadel verweiſen wir auf den Artikel Neigung und zwar auf die Stelle, wo von den täglichen Variationen die Rede iſt. Ueber die Beſtimmung der Neigung beſitzen wir eine ausgezeichnete Arbeit von Lo-

bias Mayer 2. *). In dem Folgenden geben wir einen Abriß ſeiner Unterſuchung.

Iſt (beiſtehende Figur) A C B eine Neigungsnadel, A der eine, B der andere Pol und C der nicht im Schwerpunkte liegende Unterſtützungspunkt, ſo ſtelle A D = P die ganze Kraft des Erdmagnetismus in Richtung und Größe für die Hälfte C A dar. Ziehen wir nun A X vertical durch A, verlängern B A über A nach E, ſetzen $< EAX = \alpha$, $< DAX = i$, den Winkel, welchen die beiden Ebenen E A X und D A X mit einander bilden, $= \beta$; zerlegen wir endlich A D in zwei Kräfte, von denen die eine A X parallel und die andere auf A X ſenkrecht iſt, alſo in A F und F D, und D F wiederum in zwei Kräfte, von denen die eine D G ſenkrecht auf der Ebene E A X ſteht und die andere F G in dieſer Ebene liegt: ſo erhalten wir:



$$AF = x = DA \cdot \cos i = P \cdot \cos i$$
$$DG = y = DF \cdot \sin\beta = DA \cdot \sin i \cdot \sin\beta = P \cdot \sin i \cdot \sin\beta$$
$$FG = z = DF \cdot \cos\beta = DA \cdot \sin i \cdot \cos\beta = P \cdot \sin i \cdot \cos\beta.$$

Liegt nun der Schwerpunkt in H, in der Entfernung H C = e von dem Unterſtützungspunkte, ziehen wir H y vertical durch den Schwerpunkt und ſetzen $< L C H = \gamma$; ſo iſt der auf die Richtung der Nadel ſenkrecht einwirkende Theil der Schwere, wenn das Gewicht der Nadel = Q geſetzt wird, $= Q \cdot \sin(\alpha - \gamma)$. Die Lage des Gleichgewichts der Nadel iſt nun das Reſultat von der Wirkung 1) der Kraft $Q \cdot \sin(\alpha - \gamma)$ mit dem Momente $Q \cdot e \cdot \sin(\alpha - \gamma)$; 2) der Kraft X mit dem Momente $AC \cdot P \cdot \cos i \cdot \sin\alpha$ und 3) der Kraft Z mit dem Momente $-AC \cdot P \cdot \sin i \cdot \cos\beta \cdot \cos\alpha$, ſo daß für den Fall des Gleichgewichts ſein muß:

$$AC \cdot P(\cos i \cdot \sin\alpha - \sin i \cdot \cos\beta \cdot \cos\alpha) + Q \cdot e \cdot \sin(\alpha - \gamma) = 0$$

$$\text{oder, wenn } \frac{Q \cdot e}{AC \cdot P} = c \text{ geſetzt wird,}$$

$$\cos i \cdot \sin\alpha - \sin i \cdot \cos\beta \cdot \cos\alpha + c \cdot \sin(\alpha - \gamma) = 0,$$

woraus man erhält, da

$$\sin(\alpha - \gamma) = \sin\alpha \cdot \cos\gamma - \cos\alpha \cdot \sin\gamma \text{ und } \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \operatorname{tgs}\alpha \text{ iſt,}$$

$$\operatorname{tgs}\alpha = \frac{c \cdot \sin\gamma + \sin i \cdot \cos\beta}{\cos i + c \cdot \cos\gamma} \quad \ldots \quad (1)$$

Liegt der Schwerpunkt der Nadel genau in dem Drehpunkte C, ſo wird C H = e = o, folglich auch c = o, und man erhält daher für dieſen Fall:

*) De usu accuratiori acus inclinatoriae magneticae. Comm. Soc. Gotting. T. III. 1814. p. 3. u. Gilb. Ann. Bd. XLVIII. S. 229; vergl. auch Schmidt, über Mayer's Methode den magnetiſchen Neigungscompaß zu gebrauchen. Gilb. Ann. Bd. LXIII. S. 1.

$$\text{tgs } \alpha = \frac{\sin i \,.\, \cos \beta}{\cos i} = \text{tgs } i \,.\, \cos \beta \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Befindet ſich außerdem die Nadel in dem magnetiſchen Meridiane, ſo iſt $\beta = 0$, und daher

$$\text{tgs } \alpha = \frac{\sin i}{\cos i} = \text{tgs } i, \text{ d. h. } \alpha = i \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Bildet endlich die Drehungsebene der Nadel mit dem magnetiſchen Meridian einen rechten Winkel, ſo wird $\cos \beta = 0$ und folglich:

$$\text{tgs } \alpha = 0, \text{ d. h. } \alpha = 0, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

und es ſteht daher die Nadel vertical.

Dieſe Reſultate bieten nun die Grundlage zur Ermittelung der Neigung durch das Experiment. Durch eine Beobachtung im magnetiſchen Meridiane und mit einer Nadel, deren Schwerpunkt genau mit dem Drehpunkte zuſammenfällt, erhält man (3) die Neigung unmittelbar. Dies iſt das oben angegebene Verfahren, um einen Ueberblick deſſen zu gewinnen, worauf es bei der Conſtruction des Inklinatoriums ankommt.

Die unter (2) gewonnene Formel giebt uns das Verfahren der Beobachtung außerhalb des magnetiſchen Meridians, wenn Schwerpunkt und Drehpunkt der Nadel genau zuſammenfallen. Es wird hierbei α an dem Verticalkreiſe abgeleſen und β an dem Azimuthalkreiſe unter der Vorausſetzung, daß man die Lage des magnetiſchen Meridians kennt. Wegen dieſer letzteren Vorausſetzung würde man es daher vorziehen, die Neigung unmittelbar in dem magnetiſchen Meridiane zu ermitteln, zumal man dann nur eine Ableſung zu machen hat, und mithin auch nur einem Beobachtungsfehler ausgeſetzt iſt, allerdings unter der Vorausſetzung, daß auch bei der Einſtellung in den magnetiſchen Meridian kein Fehler begangen iſt. Es läßt ſich indeſſen die Größe β eliminiren, ſo daß man die Richtung des magnetiſchen Meridians gar nicht nöthig hat. Zu dieſem Zwecke beobachtet man in zwei auf einander ſenkrechten, ſonſt ganz beliebigen Richtungen, und erhält dann, wenn das übrigens unbekannte Azimuth der Nadel in der einen Stellung $= \beta$ iſt, in der anderen dafür $90^0 - \beta$ und mithin für den erſten Fall aus (2)

$$\text{tgs } \alpha = \text{tgs } i \,.\, \cos \beta$$

für den zweiten

$$\text{tgs } \alpha_1 = \text{tgs } i \,.\, \sin \beta$$

und folglich aus beiden Gleichungen

$$\text{tgs } \alpha^2 + \text{tgs } \alpha_1{}^2 = \text{tgs } i^2.$$

Da jedoch, wie wir geſehen haben, es ſo gut wie unmöglich iſt, eine Magnetnadel anzufertigen, deren Schwerpunkt genau in dem Drehpunkte liegt, ſo würden wir gezwungen werden, die Beobachtung nach der Formel (1) einzurichten. Indeſſen läßt ſich die Wirkung der Schwere noch eliminiren, ſo daß dies doch nicht nöthig wäre. Man beobachtet nämlich die Lage der Nadel gegen den Horizont, während ſie im magnetiſchen Meridian ſich befindet, magnetiſirt dieſelbe hierauf ſo, daß der Nordpol zum Südpole wird und umgekehrt, und beobachtet dann wieder den Stand der Nadel gegen den Horizont. Da die Schwere die Neigung in dem einen Falle eben ſo vermehren muß, wie ſie dieſelbe in dem anderen vermindert, ſo würde das Mittel aus beiden Neigungen die wahre Neigung geben.

Daß man hierbei die Kenntniß des magnetiſchen Meridians entbehren und nach dem zuletzt angegebenen Verfahren beobachten kann, verſteht ſich von ſelbſt; eben ſo daß man dann vier Beobachtungen zu machen hat, nämlich zwei vor dem Umkehren der Pole und zwei wieder auf einander ſenkrechte in denſelben Lagen nach dem Umkehren, wobei man aus je zwei zu demſelben Azimuth gehörigen das arithmetiſche Mittel zu nehmen hat. — Ein Einwand, der ſich gegen dieſes Umkehren der Pole machen läßt, beſteht darin, daß die Nadel nach dem Umkehren wohl nicht genau dieſelbe magnetiſche Kraft beſitzen möchte, wie vor demſelben.

Um die Schwere zu eliminiren, ſchlug Mayer das phyſiſche Umkehren der Nadel vor, ohne die magnetiſchen Pole zu verändern Bei dieſer Methode, welcher eben die unter (1) aufgeſtellte Formel zu Grunde liegt, muß die Nadel ſo beſchaffen ſein, daß ihr Schwerpunkt merklich außerhalb ihrer Axe liegt und ſie daher ſelbſt im unmagnetiſchen Zuſtande eine ſchiefe Lage gegen den Horizont annehmen würde. Die Unterſuchung beſteht darin, daß, wenn bei der erſten Beobachtung der Schwerpunkt der Nadel unter ihrer Drehungsaxe ſich befand, derſelbe bei der darauf folgenden über dieſe Axe zu liegen kommt. Denken wir uns der Einfachheit wegen die Nadel im magnetiſchen Meridian, alſo $\beta = 0$, ſo erhalten wir z. B. für die Beobachtung, bei welcher der Schwerpunkt unter der Axe liegt,

$$\text{tgs } \alpha = \frac{\sin i + c \cdot \sin \gamma}{\cos i + c \cdot \cos \gamma}.$$

Kehren wir die Nadel um, ſo wird γ negativ und wir erhalten:

$$\text{tgs } \alpha_1 = \frac{\sin i - c \cdot \sin \gamma}{\cos i + c \cdot \cos \gamma}.$$

Wäre nun γ bekannt, z. B. gleich 90^0, ſo erhielte man aus dieſen beiden Gleichungen:

$$\frac{\text{tgs } \alpha + \text{tgs } \alpha_1}{2} = \text{tgs } i;$$

iſt aber γ nicht bekannt, ſo muß man dieſen Winkel eliminiren, und hierzu bieten ſich zwei Wege dar. Der eine und, wie es ſcheint, der ſicherſte, beſteht darin, daß man, nachdem man den Werth α und α_1 durch Beobachtung erhalten hat, die Pole der Nadel durch Streichen mit einem Magnete umkehrt, und mit derſelben wieder zwei Beobachtungen, ähnlich den vorhergehenden macht, wobei man die Werthe A und A_1 ſtatt α und α_1 erhält. Sollte hierbei, wie ſchon vorher bemerkt wurde, die Nadel nicht genau die vorige Stärke des Magnetismus erhalten haben, ſo möge k das bedeuten, was vorher c war, ferner iſt γ in $180^0 - \gamma$, mithin cos γ in $-\cos \gamma$ übergegangen, und man hat daher für die Beobachtung vor und nach dem Umlegen der Nadel:

$$\text{tgs } A = \frac{\sin i + k \cdot \sin \gamma}{\cos i - k \cdot \cos \gamma} \text{ und tgs } A_1 = \frac{\sin i - k \cdot \sin \gamma}{\cos i - k \cdot \cos \gamma}.$$

Man erhält ſomit in dieſen beiden Gleichungen und den beiden vorigen für tgs α und tgs α_1 vier Gleichungen für die vier Unbekannten c, k, γ und i, und kann daher die Neigung $= 90^0 - i$ finden.

Der zweite Weg, um γ zu eliminiren, beſteht darin, daß man, nachdem man zwei Beobachtungen im magnetiſchen Meridiane gemacht hat, zwei ähnliche in einer darauf ſenkrechten Verticalebene anſtellt. Die beiden erſten geben die obigen

Digitized by Google

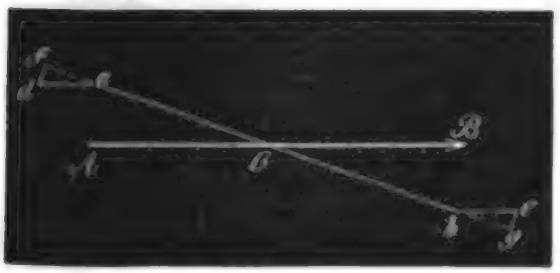
Werthe für tgs α und tgs α_1; für die beiden letzten aber, wo $\beta = 90^0$ zu ſetzen iſt in der Formel (1), bekommt man:

$$\text{tgs } a = \frac{c \cdot \sin \gamma}{\cos i + c \cdot \cos \gamma} \text{ und tgs } a_1 = \frac{-c \cdot \sin \gamma}{\cos i + c \cdot \cos \gamma}.$$

Nimmt man zu dieſen Gleichungen die für tgs α oder tgs α_1 zu Hülfe, ſo iſt dadurch ebenfalls i gefunden.

Ein anderes Mittel die Neigung zu beſtimmen, beſteht darin, daß man die völlig juſtirte Nadel um die Lage ihres Gleichgewichts zuerſt in der Ebene des magnetiſchen Meridians, dann in einer darauf ſenkrechten Ebene ſchwingen läßt, und die Anzahl der in einer beſtimmten Zeit in beiden Ebenen vollbrachten Schwingungen genau beſtimmt. Der Satz, auf welchen ſich dieſe Methode gründet, iſt der bekannte, daß die Quadrate der Schwingungszahlen zweier Pendel von gleicher Länge ſich wie die ſollicitirenden Kräfte verhalten (ſ. d. Art. Pendel).

Iſt der Magnet (ſ. beiſtehende Figur) AB aus ſeiner Gleichgewichtslage in die Lage a b gebracht, und giebt p die Stärke des in der Ebene der Zeichnung wirkenden Erdmagnetismus an; ſo wirkt p auf b und a, da dieſe nicht weit aus einander liegen, in einer mit AB parallelen Richtung. Iſt nun b e = a d = p, ſo zerlege man dieſe in zwei Kräfte, von denen die eine b g und a f in der Richtung der Nadel liegt, die andere e g und d f ſenkrecht auf derſelben ſteht. Die letztere Kraft bewirkt die Oscillation der Nadel wie bei einem Pendel und zwar iſt, wenn $< BCb = \alpha$ geſetzt wird, e g = d f = p . sin α. Macht nun die Nadel ihre Schwingungen in der Ebene des magnetiſchen Meridians, ſo iſt p = P, d. h. = der ganzen Kraft des Erdmagnetismus; geſchehen aber die Schwingungen in einer darauf ſenkrechten Ebene, ſo bedeutet p nur den vertical wirkenden Theil des Erdmagnetismus und iſt alſo, wenn i die Neigung bedeutet, = P sin i. Werden alſo in einer gewiſſen Zeit in der erſten Stellung N und in der zweiten n Schwingungen gemacht, ſo erhält man:



$$N^2 : n^2 = P : P \sin i \text{ und folglich}$$

$$\sin i = \frac{n^2}{N^2}.$$

Ebenfalls auf Schwingungsbeobachtungen gründet ſich das Verfahren von Coulomb *), welches als ſehr genau empfohlen worden, indeſſen nicht frei von Quellen des Irrthums iſt. Er geht von dem Satze aus, daß die Summe der Momente aller Kräfte, welche eine horizontale Nadel in den magnetiſchen Meridian zu führen ſtreben, durch die Formel $\frac{P l^2}{3 \lambda}$ gegeben iſt. P iſt das Gewicht

*) Nouvelle méthode de déterminer l'inclinaison de l'aiguille aimantée. Mém. de l'Inst. 1803. T. IV. p. 165.

der Nadel, l die Hälfte ihrer Länge, λ die Länge des einfachen Pendels, welches seine Oscillation in derselben Zeit, wie die Nadel macht. Diese Formel ist zwar richtig, indessen nur unter der Voraussetzung, daß die Nadel eine Regelmäßigkeit der Gestalt und eine Kleinheit in ihren transversalen Dimensionen hat, welche man ihr eigentlich niemals geben kann; außerdem ist Bedingung, daß der Schwerpunkt mit dem Drehpunkte genau zusammenfällt, was, wie wir gesehen haben, nicht zu erreichen ist. Um übrigens dies Coulomb'sche Verfahren anschaulicher zu machen, möge hier die Beobachtung folgen, welche Coulomb zur Bestimmung der Neigung in Paris im Jahre 1798 anstellte.

Bei Coulomb's Nadel war P = 88,808 Gr., l = 213,3 Millimeter, und da sie 50 Schwingungen in 495 Secunden machte, so ergiebt sich $\lambda = 994 \left(\frac{495}{50}\right)^2$ und hieraus das horizontale Moment $\frac{P l^2}{3\lambda} = 13{,}824$ Gr. auf 1 Millimeter Abstand vom Centrum der Nadel. Um hierauf das verticale Moment zu finden, hängt man die Nadel gleich einem Wagebalken auf eine Axe, die ziemlich genau durch den Schwerpunkt geht, und sucht das Gegengewicht, welches man an dem Südpole anbringen muß, um die Nadel zur Horizontalität zurück zu führen. Dieses Gegengewicht betrug 0,2 Gr. in 170,5 Millim. Abstand von der Axe. Dieses Resultat würde genügen, wenn die Axe wirklich genau durch den Schwerpunkt gehen könnte; aber um sich in dieser Beziehung sicher zu stellen, magnetisirt man die Nadel im entgegengesetzten Sinne, und bei dieser Gelegenheit ergiebt sich eine dritte Quelle des Irrthums, denn man muß sie so magnetisiren, daß sie wie das erste Mal 50 Schwingungen in 495 Secunden macht, welches außerordentlich schwer ist. Ist dies jedoch gelungen, so legt man sie wieder auf ihre Axe, deren Stellung nicht verändert sein darf, und sieht aufs Neue das Gegengewicht, welches sie horizontal macht. Dasselbe betrug 0,2093 Gr. in 194,5 Millim. Abstand von der Axe. Das Mittel aus beiden Gegengewichten giebt 37,348 Gr. für 1 Millimeter Abstand, so daß, wenn die im horizontalen Sinne wirkende Kraft der Erde durch 13,824 dargestellt ist, die im verticalen Sinne wirkende durch 37,348 gegeben ist. Hieraus ergiebt sich als die Tangente des Winkels, welchen die gegen die Nadel in der Ebene des magnetischen Meridians wirkende Erdkraft mit dem Horizonte macht, $= \frac{37{,}348}{13{,}824} = 2{,}70167$. Der zu dieser Tangente gehörige Winkel 69° 41',3 war also die Neigung der Magnetnadel.

Die Methode der Schwingungen empfiehlt sich durch ihre Einfachheit, und da man auch die zu directen Messungen eingerichteten Inklinatorien dazu gebrauchen kann, so sollte man da, wo man direct gemessen hat, wenigstens der Controle wegen auch die Schwingungsmethode noch zur Geltung bringen.

In den Jahren 1834 — 36 haben sich Sartorius v. Waltershausen und Listing auf ihrer Reise nach Italien der Methode bedient, einen Stab erst horizontal, dann vertical in einer auf dem magnetischen Meridiane senkrechten Ebene schwingen zu lassen, und aus dem Verhältnisse der Totalkraft des Erdmagnetismus zu der horizontalen Componente die Inklination abzuleiten. Da bei den verticalen Schwingungen die Schwingungsaxe nicht durch den Schwerpunkt ging, so müßte durch Wiederholung derselben Operation nach Umkehrung der Pole der Einfluß

dieſes Umſtandes eliminirt werden. Die Schwingungsaxe eines ſolchen Oscillations-Inklinatoriums kann aus einer runden Axe, oder einer Meſſerſchneide, oder aus zwei Spitzen beſtehen; v. Waltershauſen und Liſting haben Spitzen gebraucht, wodurch man verſichert iſt, bei den beiden verticalen Schwingungen genau dieſelbe Schwingungsaxe zu erhalten. Praktiſch bietet die Methode indeſſen Schwierigkeiten dar, indem z. B. jede Unregelmäßigkeit der Lager und der Axe oder der Spitzen, worauf der Maguet bei verticaler Stellung ſchwingt, auf die Schwingungsdauer Einfluß hat, ein Einfluß, der ſich nicht eliminiren läßt *).

Das Verfahren, welches Gauß **) anwendete, kommt im Weſentlichen auf Folgendes hinaus. Man ſtelle den Verticalkreis in den Meridian und beobachte die Neigung f_0, dann ändere man das Azimuth um 180°, lege die Nadel wieder auf, ſo daß ihre Axe gegen die Weltgegenden wieder dieſelbe Lage habe, und beobachte die Neigung $180° - f_1$, alsdann wird $\frac{1}{2}(f_0 + f_1) = f$ die von dem Fehler der Lager und des Nullpunktes befreite Neigung für die eine Stellung der Zapfen ſein. Analog mit f erhält man eine zweite Beſtimmung g, wenn man die Zapfen verwechſelt, d. h. den Zapfen, welcher in den beiden erſten Meſſungen gegen Weſten gerichtet war, nun nach Oſten ſtellt. Dann muß die Nadel umgeſtrichen, und die mit f und g correſpondirenden Winkel f' und g' beſtimmt werden. Außer dieſen durch das Inklinatorium ſelbſt gegebenen Daten muß man vermittelſt eines eigenen Schwingungs-Apparates vor und nach dem Umſtreichen die Schwingungszeiten T und T' der Nadel in horizontaler Lage beſtimmen. Um nun aus dieſen ſechs Größen die wahre Neigung zu finden, bildet Gauß folgende Gleichungen:

$$i = f + c - t \cdot \cos . f + u \cdot \sin . f$$
$$i = g - c - t \cdot \cos . g - u \cdot \sin . g$$
$$i = f' + c' - \lambda t \cdot \cos . f' - \lambda u \cdot \sin . f'$$
$$i = g' - c' + \lambda t \cdot \cos . g' + \lambda u \cdot \sin . g'.$$

Hier bedeutet c und c' den Collimationsfehler der Nadel, d. h. den Winkel zwiſchen der magnetiſchen Axe und der durch die Spitzen der Nadel gehenden Linie vor und nach dem Umſtreichen; t und u ſind kleine Größen, durch deren Elimination man den Werth von i findet, ohne daß ihre Beſtimmung an und für ſich von Intereſſe wäre; λ iſt gleich $\frac{T_1^2}{T^2}$. In ſofern man nicht durch beſondere Hülfsmittel c und c' beſtimmt, was man nach Gauß dadurch thun kann, daß man vor und nach dem Umſtreichen die Nadel als Declinations-Magnet aufhängt und durch Mikroſkope die Werthe von c und c' ermittelt, muß man (was immerhin nahe richtig ſein wird) $c = c'$ annehmen.

Bei allen eben angegebenen Methoden die Inklination der Magnetnadel zu beſtimmen bleiben immer zwei erſchwerende Umſtände: 1) die Nothwendigkeit, die Magnetnadel während der Meſſung neu zu magnetiſiren, um die Pole umzukehren, 2) die Nothwendigkeit der verticalen Drehung, bei welcher ſich die Einflüſſe der

*) Vergl. Lamont in Dove's Repert. Bd. VII. S. XXVII.
**) Reſult. des magnetiſchen Vereins für 1841. S. 11.

Schwere mit den magnetiſchen Kräften vereinigen, deren Scheidung ſchwer hält. W. Weber hat ſich deshalb bemüht, eine Methode zu ermitteln, die Inklination der erdmagnetiſchen Kraft ohne Umkehrung der Pole, mit einer nur in horizontaler Ebene drehbaren Bouſſole zu meſſen. Er fand eine Baſis für ſeine Unterſuchungen in der Einwirkung der galvaniſchen Kraft auf die Magnetnadel (ſ. Art. Elektromagnetismus Bd. II. S. 781 ff.), eine Einwirkung, welche nach dem Inductionsgeſetze (ſ. Art. Induction, elektriſche) in einem bewegten galvaniſchen Leiter vom Erdmagnetismus eben ſo hervorgebracht werden kann, wie vom Stabmagnetismus. Es iſt nun klar, daß dieſe Wirkung des Erdmagnetismus, wenn ſie genau beobachtet und gemeſſen wird, zur Erforſchung der Urſache, d. h. zur Erforſchung des Erdmagnetismus ſelbſt dienen kann.

Von dieſem Gedanken geleitet conſtruirte W. Weber bereits 1837 ein Inductions-Inklinatorium *). Es hatte dies Inſtrument jedoch noch den Mangel, daß ſich mit demſelben die magnetometriſche Einrichtung zur feineren Beobachtung nicht verbinden ließ, weshalb auch die angegebene neue Methode praktiſch erfolglos blieb. Neuerdings 1852 **) iſt es aber demſelben gelungen, auch dieſen Mangel zu beſeitigen und Einrichtungen zu treffen der Art:

1) daß die durch Vermittelung der Induction mit dem Magnetometer gemachten Inklinationsbeſtimmungen an Präciſion auch den durch die ſorgfältigſten Beobachtungen mit den beſten bisherigen Inklinatorien gewonnenen Reſultaten nicht nachſtehen;
2) daß dadurch eine große Erleichterung und Vereinfachung für die Ausführung der Meſſungen gewonnen wird;
3) endlich daß durch Combination einer größeren Anzahl ſolcher zu allen Tages- und Nachtzeiten anſtellbaren Beobachtungen die Beſtimmung der Inklination von dem Einfluſſe der täglichen Variationen unabhängig erhalten werden kann, was für die Erforſchung der Säcular-Variationen wichtig iſt und mit den bisher gebrauchten Inſtrumenten nicht erreichbar war.

Wegen der näheren Einrichtung und des Gebrauches dieſes Inſtrumentes verweiſen wir auf die Artikel Induction, elektriſche und Neigung der Magnetnadel; hier ſei nur noch bemerkt, daß in feſten Obſervatorien, wo man ſchon zur Beſtimmung der anderen magnetiſchen Elemente ſich der Magnetometer bedient, dieſe Weber'ſche Methode durch Vereinfachung der Arbeit und Gleichförmigkeit in der Behandlung aller drei Elemente des Erdmagnetismus große Vortheile bietet. Auf Reiſen hingegen werden die bisherigen Inklinatorien immerhin ihre Vorzüge geltend machen, welche ſie in ihrer leichten Transportabilität beſitzen.

Daß man für den Gebrauch zur See den Inklinationsapparat nicht aufſtellen, ſondern frei ſchwebend aufhängen muß, damit er ſich ſelbſt in die verticale Richtung verſetzen könne, verſteht ſich von ſelbſt. Wegen der nie aufhörenden Schwan-

---

*) Pogg. Ann. Bd. XLIII. S. 493; Reſultate aus den Beobachtungen des magnetiſchen Vereins. Hft. II. S. 81.

**) Pogg. Ann. Bd. XC. S. 209; aus: Abhandl. d. K. Geſellſch. d. Wiſſenſch. zu Göttingen. Bd. V.

kungen, ſelbſt bei ſonſt ruhigem Wetter,* muß man ſich begnügen die äußerſten Ausſchläge der Nadel zu beſtimmen, um daraus den eigentlichen Stand zu ermitteln. Indeſſen werden am Bord eines Schiffes angeſtellte Beobachtungen nie auf große Zuverläſſigkeit Anſpruch machen können, da der Magnetismus des Schiffseiſens eben ſo auf die Inclinationsnadel von Einfluß ſein wird, wie auf die Declinationsnadel, worüber wir auf Artikel Ablenkung verweiſen, woſelbſt auch auf Poiſſon's dieſen Gegenſtand betreffende Unterſuchungen Bezug genommen iſt. H. C.

Inſtrumente, ſ. Apparat.

Interferenz (v. dem engl. Worte to interfere, zuſammentreffen, widerſtreiten) bezeichnet ein vollſtändiges oder theilweiſes Ausgleichen der in einem Körper (Medium) durch Wellenbewegungen hervorgerufenen Veränderungen, ſobald verſchiedene Wellenſyſteme ſich durchkreuzen.

In ſofern wir hier nur mit dieſen Ausgleichungen uns zu beſchäftigen haben, müſſen wir wegen der übrigen Verhältniſſe der Wellenbewegung auf den Artikel Wellen verweiſen.

A. Interferenz auf der Oberfläche eines Mediums.

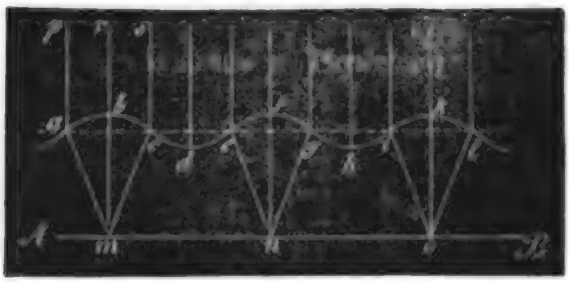
Durchkreuzen ſich z. B. zwei Waſſerwellenſyſteme, ſo ſchreitet jedes in Bezug auf die Richtung fort, ohne von dem anderen eine Störung zu erleiden, nur tritt ein kleiner Zeitverluſt in der Fortpflanzungsgeſchwindigkeit ein und eine Veränderung der Geſtalt an den Kreuzungsſtellen. Da wo zwei Wellenberge von gleicher Höhe ſich begegnen, entſteht ein faſt doppelt ſo hoher Wellenberg, eben ſo bilden zwei gleich tiefe Wellenthäler ein faſt doppelt ſo tiefes Thal, indem die Verſchiebung der einzelnen Waſſertheilchen in beiden Fällen durch zwei gleiche Kräfte in gleichem Sinne erfolgt, die reſultirende Bewegung mithin mit verdoppelter Stärke eintreten muß. Begegnen ſich ein Wellenberg und ein Wellenthal, ſo gleichen ſich dieſelben entweder vollſtändig oder theilweiſe aus, ſo daß das urſprüngliche Niveau hergeſtellt wird, oder ein kleinerer Wellenberg oder ein kleineres Wellenthal ſich bildet, als ein Syſtem für ſich erzeugen würde, je nachdem das Volumen des Wellenberges dem des Thales gleich iſt, oder daſſelbe übertrifft oder demſelben nachſteht. Aehnliche Verhältniſſe treten ein, wo verſchiedene Wellenphaſen zuſammentreffen.

Was hier vom Waſſer ausgeſagt iſt, gilt von allen tropfbaren Flüſſigkeiten. Zur Beobachtung im Kleinen kann man ſich daher auch jeder anderen Flüſſigkeit bedienen, und beſonders empfiehlt ſich hierzu eine Queckſilberoberfläche. Man laſſe z. B. aus zwei feinen, nahe bei einander angebrachten Oeffnungen in einer Flaſche, Queckſilber auf eine Queckſilberfläche tröpfeln. Weber *) bediente ſich einer ſchmalen Rinne, erregte ein Wellenſyſtem und beobachtete die Interferenzen, welche zwiſchen dieſem Syſteme und dem durch Zurückwerfung entſtandenen neuen Syſteme eintraten. Intereſſant iſt der Fall, wenn man in den einen Brennpunkt eines elliptiſchen Gefäßes, welches mit Queckſilber gefüllt iſt, Queckſilbertropfen

*) Wellenlehre, auf Experimente gegründet ꝛc. Leipzig 1825. S. 225.

fallen läßt. Poppe*) hat ein beſonderes Interferenzoſkop zur Darſtellung und Beobachtung der Interferenzerſcheinungen bei Waſſerwellen conſtruirt. Er erregt auf einer Waſſerfläche Syſteme raſch auf einander folgender Wellen (100 bis 200 in 1 Secunde), und benutzt die Brechung der Lichtſtrahlen in der Flüſſigkeit, um die Interferenzen der Wellenberge als hellglänzende unbewegliche Linien auf einem weißen Grunde oder auf einer transparenten Scheibe erſcheinen zu laſſen.

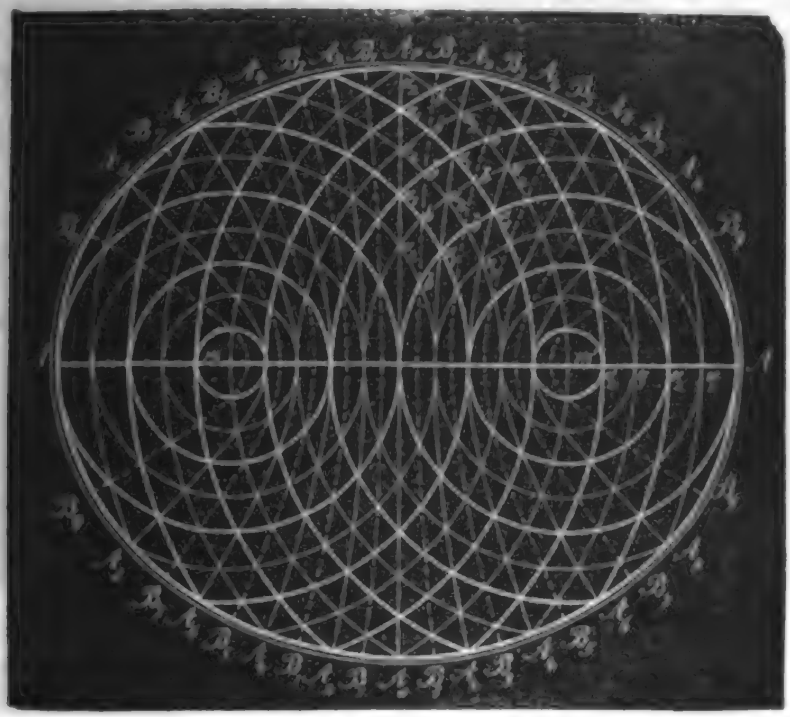
Folgendes iſt das Princip, auf welchem dieſer Apparat beruht. Es ſtelle a b c ... l in beiſtehender Figur den Durchſchnitt einiger durch Interferenz entſtandener Wellen dar, welche von ſenkrecht einfallenden Sonnenſtrahlen a p, b r, c s .... getroffen werden. Die Wellenberge a b c, e f g ... wirken in dieſem Falle in ähnlichem Sinne, wie Convergläſer; ſie concentriren die einfallenden Strahlen in eine Brennlinie, während die Wellenthäler c d e, g h i .... in dem Sinne von Concavgläſern eine Zerſtreuung der Lichtſtrahlen bewirken. Befindet ſich nun unter der Oberfläche des Waſſers eine weiße Fläche A B in der gehörigen Brennweite, ſo werden die von den Wellenbergen aufgefangenen Strahlenbündel auf dem weißen Grunde in m, n, o ... zu hellen Lichtlinien vereinigt erſcheinen, während die von den Wellenthälern aufgefangenen Strahlen innerhalb der Räume m n, n o ... ſich zerſtreuen und daſelbſt nur eine matte Beleuchtung hervorbringen. — Der Waſſerbehälter iſt ein rectangulärer, 14 Z. langer, 10 Z. breiter, 3 Z. tiefer, inwendig geſchwärzter Blechkaſten, der auf drei Adjuſtirſchrauben ſteht und an der Seite einen Hahn hat zum Ablaſſen des Waſſers und zum Einſtellen des Niveaus. Zur Auffangung der Lichtſtrahlen nach ihrer Brechung im Waſſer dient eine gewöhnliche durchſichtige Glasſcheibe, welche in eine Oeffnung des Behälterbodens waſſerdicht eingeſetzt iſt und mit einem Blatte feinen, durch ein Meſſingrähmchen beſchwerten, Poſtpapiers bedeckt wird. Wegen des Mechanismus zur Erregung der Wellen müſſen wir auf die angegebenen Quellen um ſo mehr verweiſen, als gerade an dieſem Theile des Apparates in der zweiten der angeführten Stellen weſentliche Verbeſſerungen angegeben ſind, was uns hier zu weit führen würde.



Um die Interferenzerſcheinungen näher zu veranſchaulichen, denken wir uns in m und m' (ſ. d. umſtehende Figur) die Mittelpunkte zweier Wellenſyſteme; die ſtark ausgezogenen Kreiſe mögen die in einem beſtimmten Augenblicke beſtehenden Wellenberge und die fein ausgezogenen die gleichzeitigen Wellenthäler vorſtellen. Verfolgen wir die Punkte a_1 a_1, an welchen zwei Wellenberge zuſammentreffen und alſo einen faſt doppelt ſo hohen Berg bilden, ſo ergiebt ſich, daß die in den Linien $A_0 A_0$ liegenden von den Mittelpunkten m und m' gleich weit abſtehen, die in den Linien $A_2 A_2$ liegenden aber um 2 halbe Wellenlängen von dem einen Mittelpunkte weiter entfernt ſind, als von dem anderen, eben ſo die in den Linien $A_4 A_4$ um

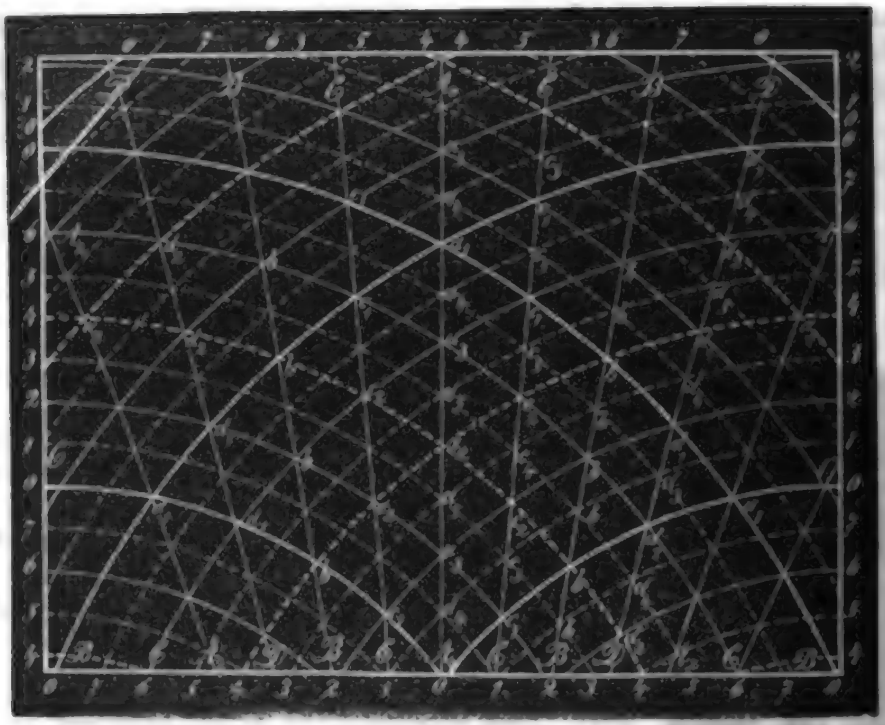
*) Pogg. Ann. Bd. LXXIX. S. 437 u. Bd. LXXXVIII. S. 223.

4 halbe Wellenlängen u. ſ. f. In den Punkten $a_2\,a_2$ bilden zwei zuſammentreffende Wellenthäler ein ziemlich doppelt ſo tiefes Thal und von den in den Linien $A_0\,A_0$, $A_2\,A_2$, $A_4\,A_4$ . . . liegenden gilt daſſelbe, wie vorher. Die in den



Linien $B_1\,B_1$, $B_3\,B_3$, $B_5\,B_5$ liegenden Punkte $b\,b$, in welchen Wellenberge und Wellenthäler von gleicher Höhe und Tiefe interferiren, ſtehen von dem einen Mittelpunkte um 1, 3, 5 . . . halbe Wellenlängen weiter ab, als von dem anderen. Aus dieſer Betrachtung ergiebt ſich ohne Weiteres, daß die Linien $B_1\,B_1$, $A_2\,A_2$ $B_3\,B_3$ . . . . Hyperbeln ſind.

In dem Vorſtehenden haben wir nur die Rücken der Wellenberge und die tiefſten Stellen der Wellenthäler ins Auge gefaßt. Wollen wir uns auch die Schwingungszuſtände zwiſchen den erhaltenen Linien anſchaulich machen, ſo müſſen wir uns die einzelnen Wellen in mehrere gleiche Theile zertheilen und die einzelnen Phaſen verfolgen. Wir entwerfen daher einen Theil der vorigen Figur in größerem Maßſtabe und theilen die Wellenlänge in 8 gleiche Theile. Die ſtark ausgezogenen Linien der umſtehenden Figur ſtellen die Rücken der Wellenberge vor; die mit 1, 2, 3 . . . 7 bezeichneten Bogen repräſentiren gleiche Schwingungsphaſen, wie ſie von dem einen oder anderen Mittelpunkte fortgeſchritten ſind. Es ſind mithin die Bogen 4 die tiefſten Stellen der Thäler, da ſie die Mitte der Wellen einnehmen; die Bogen 2 und 6 Stellen, an welchen ein Wellenberg in ein Wellenthal oder umgekehrt übergeht, alſo Stellen, an welchen das Niveau mit dem urſprünglichen zuſammenfällt, oder Niveaulinien; die Bogen 1 und 7 bezeichnen die Wellenphaſen in der Mitte zwiſchen einem Wellenberge und einer Niveaulinie, und eben ſo die Bogen 3 und 5 die in der Mitte zwiſchen einer Niveaulinie und einem Wellenthale.



B. Interferenz im Inneren eines Mediums.

Denken wir uns die Mittelpunkte der Wellenſyſteme im Inneren des Mediums, z. B. in der atmoſphäriſchen Luft, ſo erhalten wir (ſ. Art. Wellen) Verdichtungen und Verdünnungen, welche in Kugelflächen um die Erregungspunkte als Mittelpunkte liegen, jene den Wellenbergen, dieſe den Wellenthälern auf den Oberflächen entſprechend.

Auf gleiche Weiſe wie vorher treten auch in dieſem Falle Interferenzen ein, indem bei der Durchkreuzung zweier Wellenſyſteme an den Stellen, in welchen zwei Verdichtungsſchalen zuſammentreffen, eine größere Verdichtung und an denjenigen, wo daſſelbe mit zwei Verdünnungsſchalen ſtattfindet, eine größere Verdünnung eintreten muß, indem die Bewegung der einzelnen Maſſentheilchen nun von zwei Kräften in gleichem Sinne erregt wird. Begegnen ſich hingegen eine Verdichtungs- und eine Verdünnungsſchale von reſpective gleicher Stärke, ſo wird dies eine Herſtellung der urſprünglichen Dichtigkeit des Mediums zur Folge haben, alſo vollſtändige Interferenz, während entgegengeſetzte Phaſen von nicht gleicher Intenſität nur eine unvollſtändige Interferenz bei ihrem Zuſammentreffen herbeiführen.

Die vorher gebrauchten Zeichnungen können auch für dieſen Fall als Veranſchaulichungsmittel dienen, falls man nur die Linien, welche dort die Rücken der Wellenberge vorſtellen, als die Stellen der größten Verdichtung betrachtet u. ſ. f.

Erſcheinungen, welche auf dieſen Principien beruhen, zeigen ſich bei den Schwingungen in der atmoſphäriſchen Luft, alſo bei dem Schalle, und bei den Schwingungen des Aethers, welche den Erſcheinungen des Lichts und wohl auch der Wärme zu Grunde liegen.

Digitized by Google

a. Interferenz des Schalles.

Auf die Erſcheinungen der Interferenz als ſolcher ſcheint zuerſt beim Schalle aufmerkſam gemacht zu haben Vieth im Jahre 1804 *); dann haben aber zunächſt die Gebrüder E. und W. Weber die genaueſten Unterſuchungen hierüber angeſtellt **).

Vieth's Beobachtung beſteht darin, daß, wenn man eine tönende Klangſcheibe bei dem Ohre vorbeiführt, der Ton verſchwindet, ſobald die gegen die Fläche des Ohres ſenkrechte Scheibe mitten vor dem Ohre ſich befindet, dahingegen wieder erſcheint bei weiterer Fortbewegung der Scheibe. Führt man die dem Ohre parallel gehaltene Klangſcheibe vor dem Ohre dicht vorbei, ſo verſchwindet der Ton über jeder Ruhelinie des darauf geſtreuten Sandes.

I.

Hopkins ***) bringt die hier eintretenden Verhältniſſe auf folgende Weiſe zur Anſchauung. Man breite über das offene Ende der zweiſchenkeligen Röhre A B A_1 von Holz oder Pappe, deren Schenkel ſo lang ſind, daß man ſie über die bei Erzeugung der Klangfiguren gebräuchliche Schraube hinweg bis auf etwa eine halbe Linie der eingeſchraubten Klangſcheibe nähern kann, eine feine Membran oder ein Stück gewöhnliches Schreibpapier, und ſtreue dann eine geringe Quantität Sand darauf. Hält man die offenen Enden A und A' der Gabel über zwei Stellen der Scheibe, welche in demſelben Sinne ſchwingen, z. B. bei einer quadratiſchen Scheibe, deren eine Seite in der Mitte geſtrichen wird, während die Schraube dieſelbe im Durchſchnittspunkte der Diagonalen hält über a und b (Fig. II.), ſo geräth der Sand auf der Membran augenblicklich in ſtarke Bewegung und offenbart dadurch die Vibrationen derſelben. Hält man hingegen die offenen Enden der Gabel über zwei Stellen der Scheibe, von denen die eine aufwärts, die andere gleichzeitig abwärts ſchwingt, z. B. über a und c, ſo bleibt der Sand vollkommen ruhig, ſobald die Stellen genau dieſelben Schwingungsſegmente, aber im entgegengeſetzten Sinne, ausmachen ****).

II.

Aus dieſem Verſuche ergiebt ſich entſchieden, daß das Trommelfell bei dem Vieth'ſchen Verſuche die Stelle der Membran vertritt.

---

*) Dove's Repertorium der Phyſik. Bd. III. S. 91.

**) Wellenlehre. S. 507; vergl. Schweigg. Journ. Bd. XLVI. S. 108; Bd. XLVIII. S. 375; Bd. L. S. 247.

***) Pogg. Ann. Bd. XLIV. S. 246 u. 603.

****) Häufig bildet der Sand im erſten Falle auf der Membran eine Klangfigur, welche indeſſen nichts mit derjenigen auf der Klangſcheibe gemein hat. Die Figur auf der Membran iſt von der Länge der gemeinſchaftlichen Röhre der Gabel abhängig und um die zweckmäßige Länge ſich verſchaffen zu können, trifft man wohl auch die Einrichtung, die Membran auf eine beſondere Röhre zu ſpannen, welche auf dem Ende B verſchiebbar iſt.

Statt der Klangſcheibe, deren ſich Vieth bediente, wendete Dove *) eine kreisrunde Glocke an. Während des Tönens krümmt ſich dieſe elliptiſch und zwar ſo, daß die Brennpunkte dieſer Ellipſe, wenn ſie in dem einen Durchmeſſer im Mittelpunkte zuſammengefallen ſind, dann ſogleich in dem darauf ſenkrechten Durchmeſſer aus einander gehen. Die von vier Punkten, welche um Quadranten von einander abſtehen, ausgehenden Verdichtungen und Verdünnungen heben ſich bei ihrem Zuſammentreffen in der Mitte daher vollkommen auf. Zu dieſem Verſuche reicht eine Glasglocke, etwa von den Dimenſionen der kleinen Campane einer Luftpumpe aus, die man angeſchlagen oder mit dem Violinbogen geſtrichen vor dem Ohre vorüberführt.

Weber's Beobachtungen bezogen ſich auf die Stimmgabel. Dreht man eine ſolche, nachdem ſie zum Tönen gebracht iſt, vor dem Ohre herum, ſo nimmt man den Ton wahr, wenn eine der Flächen einer Zinke dem Ohre zugewendet iſt, aber der Ton verſchwindet, ſobald eine der Kanten dem Ohre gegenüberſteht, was alſo während einer ganzen Umdrehung der Gabel viermal eintritt. Die nach innen ſchwingenden Zinken verdichten nämlich die Luft in dem Zwiſchenraume, während gleichzeitig an den Außenflächen Verdünnungswellen entſtehen, und umgekehrt.

Zweckmäßig iſt es, die Gabel über einem mittönenden Glaſe klingen zu laſſen. Man nimmt hierzu ein cylindriſches Glas — etwa 6 bis 8 Zoll hoch und 3 bis 4 Zoll weit — und bringt daſſelbe, falls es nicht ſchon an ſich eben den Ton, wie die Stimmgabel, giebt, durch eingegoſſenes Waſſer auf dieſen Ton. Der Ton der Stimmgabel wird hierdurch ſehr verſtärkt und es können gleichzeitig mehrere Perſonen die Beobachtung machen. Weber gab dem Glaſe nur eine Oeffnung von 0,3 Linien Weite und fand durch genaue Meſſungen, daß die Interferenzpunkte in derſelben Entfernung und Winkelrichtung gegen den Querſchnitt der Zinke der Stimmgabel liegen, man mag der Oeffnung einen Punkt der Länge der Zinke, welchen man will, gegenüber ſtellen, ferner daß die Winkelrichtung, welche man der Stimmgabel geben muß, eine andere iſt bei verſchiedenen Entfernungen der Oeffnung von derſelben. Der geometriſche Ort der Interferenzpunkte bildet eine gekrümmte Fläche, deren geradlinige Durchſchnittslinien mit der Längenare der Zinke parallel ſind; die auf dieſe ſenkrechten Querſchnitte ſind aber hyperboliſch und umgeben den Querſchnitt der Stimmgabel in einer ſymmetriſchen Stellung, ſo daß die Brennpunkte der Hyperbeln in den Kanten der Stimmgabel liegen.

In Folge eines Vorſchlags von Herſchel **), eine Röhre zu conſtruiren, welche unter einer gewiſſen Anzahl in ihr fortſchreitender Töne einen beſtimmten unterdrückt, ließ Kane ***) Röhren von nebenſtehender Form anfertigen, in welchen die Schallwellen zwei Wege zurücklegen mußten, die ſich z. B. in der einen wie 3 : 2, in der anderen

*) Pogg. Ann. Bd. XLIV. S. 272.
**) Pogg. Ann. Bd. XXXI. S. 245.
***) Phil. mag. T. VII. p. 304. (1835). Pogg. Ann. Bd. XXXVII. S. 424.

wie 7:6 verhielten; die Längen waren nämlich 15″:10″ und 21″:18″. Hierbei bleiben von den Tönen, welche eine ſolche Röhre geben kann, diejenigen aus, bei welchen die Verdichtungswelle durch die eine Wegleitung mit der Verdünnungswelle durch die andere zuſammenfällt. Bei der Röhre mit dem Verhältniſſe 3:2 gab die kürzere Röhre allein die Töne $\underline{e}$, $\underline{\underline{e}}$, $\underline{\underline{h}}$ und $\underline{\underline{\underline{e}}}$, die längere allein $\underline{a}$, $\underline{\underline{a}}$, $\underline{\underline{e}}$, $\underline{\underline{\underline{a}}}$, $\underline{\underline{\underline{c}}}$, $\underline{\underline{\underline{e}}}$. Wurden die Röhren zuſammengeſtimmt, ſo wurden die Töne des längeren Rohres, welche ſich auch unter denen des kürzeren Rohres fanden, wie $\underline{\underline{e}}$, $\underline{\underline{\underline{e}}}$ mit höherer Deutlichkeit erhalten; $\underline{\underline{a}}$ und $\underline{\underline{h}}$ ſchienen in einander zu fließen und $\underline{e}$ war ganz verſchwunden. — Noch entſchiedener waren die Ergebniſſe der anderen Röhre mit dem Verhältniſſe 7:6. Die Tonreihe der kürzeren Röhre allein war: $\underline{f}$, $\underline{\underline{f}}$, $\underline{\underline{c}}$, $\underline{\underline{\underline{f}}}$ und $\underline{\underline{\underline{c}}}$, die der längeren: $\underline{d}$, $\underline{\underline{d}}$, $\underline{\underline{a}}$, $\underline{\underline{d}}$, $\underline{\underline{f}}$, $\underline{\underline{a}}$ und $\underline{\underline{\underline{d}}}$. Beim Anblaſen erhielt man die Töne: $\underline{\underline{d}}$, $\underline{\underline{f}}$, $\underline{\underline{\underline{d}}}$, $\underline{\underline{\underline{f}}}$, $\underline{\underline{\underline{a}}}$, $\underline{\underline{\underline{c}}}$ und $\underline{\underline{\underline{d}}}$, ſo daß mithin aus den Tönen des kürzeren Rohres die Töne $\underline{f}$ und $\underline{\underline{c}}$, und aus denen des längeren die Töne $\underline{d}$ und $\underline{a}$ verſchwunden waren.

Wheatſtone's Verſuche *) zur Beſtätigung der Bernouilli'ſchen Theorie, daß, wenn eine an beiden Enden offene Röhre den Grundton angiebt, die Luftportionen zu beiden Seiten der Mitte der Röhre ſich in entgegengeſetzter Richtung zu einander bewegen, gehören auch hierher.

Eine ungefähr einen Zoll weite, 13 Zoll lange Röhre wurde zu einem Kreiſe umgebogen, ſo daß die offenen Enden einander nahe gegenüberſtanden; in der Mitte befand ſich aber ein Gewinde, durch welches eine Drehung der Röhre in die Form eines S möglich wurde. Eine Klangſcheibe wurde zwiſchen den einander zugekehrten Enden eingeſchaltet, welche den Grundton angab, und es wurde in dem Rohre keine Reſonanz erzeugt, während dieſe ſehr ſtark hervortrat, wenn die Röhre in ihrer Mitte ſo gedreht wurde, daß die beiden einander nun nicht mehr gegenüberſtehenden Enden über Theile der Klangſcheibe zu ſtehen kamen, welche in Beziehung auf dieſe entgegengeſetzt, in Beziehung auf die Röhrenöffnungen aber gleichartig ſchwangen.

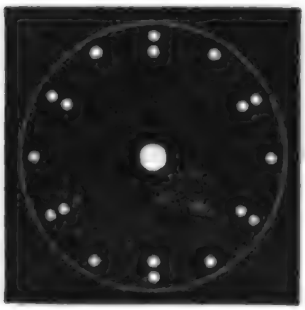
Seebeck **) hat intereſſante Interferenzverſuche mit der Lochſirene angeſtellt. Dieſer Apparat beſteht aus einer hölzernen, mit Blei beſchwerten und um eine horizontale Axe drehbaren Scheibe von $7\frac{1}{4}$ Zoll Durchmeſſer. Auf dieſer Scheibe wird concentriſch eine größere Scheibe (12 Zoll Durchmeſſer) von dünner, glatter Pappe befeſtigt, an deren Umfang in 4 bis $5\frac{1}{2}$ Zoll Entfernung von dem Mittelpunkte, in gleichen Abſtänden Löcher durchgeſchlagen werden. Die Axe läßt ſich mittelſt eines Wellrades und Schnurlaufes in Bewegung ſetzen. Dieſer Apparat kann nun während der Drehung entweder dadurch zum Tönen gebracht werden, daß man vermittelſt einer Röhre einen Luftſtrom gegen die Löcher bläſt, oder auch, wenn man eine aus einem Kartenblatte geſchnittene Spitze ſo gegen die Scheibe hält, daß ſie in die Löcher einſchlagen muß.

*) Pogg. Ann. Bd. XXVIII. S. 448.
**) Pogg. Ann. Bd. LIII. S. 417.

Läßt man durch zwei Röhren von entgegengeſetzten Seiten her zwei Luftſtröme gegen die Löcher wirken, in der Art, daß die Röhren während der Umdrehung der Scheibe gleichzeitig zwei verſchiedenen Löchern gegenüber ſtehen, ſo hört man keinen Ton, ſondern nur ein Sauſen, wie wohl jeder einzelne Luftſtrom, wenn er allein wirkſam iſt, deutlich ein und denſelben Ton hervorbringt. In jenem Falle heben ſich nämlich die beiden entgegengeſetzten Luftſtröme während ihrer Fortpflanzung und alſo auch im Ohre des Beobachters gegenſeitig auf. Werden die Löcher von den entgegengeſetzten Luftſtrömungen nicht gleichzeitig, ſondern alternirend getroffen, ſo hört man den urſprünglichen Ton verſtärkt.

Wenn ſich in der Scheibe zwei concentriſche Lochreihen befinden, von denen die eine doppelt ſo viele Löcher hat, als die andere, wie in beiſtehender Figur I., ſo hört man beim gleichzeitigen Anblaſen beider Löcherreihen von derſelben Seite her zwei Töne, deren einer die Octave des anderen iſt.

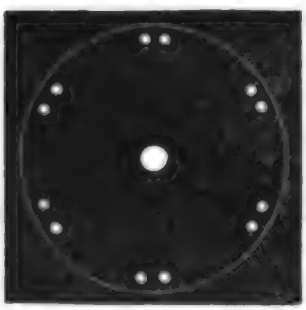
I.



Geſchieht aber das Anblaſen von entgegengeſetzten Seiten her, dergeſtalt, daß jeder Luftſtoß des tieferen Tones mit einem des höheren zuſammentrifft, ſo verſchwindet der höhere Ton und der tiefere wird allein gehört. Hier wird der Luftſtoß, welcher durch ein Loch der inneren Reihe hervorgebracht wird, durch den entgegengeſetzten des gleichzeitig angeblaſenen Loches der äußeren Reihe aufgehoben, ſo daß die Hälfte der Luftſtöße der äußeren Löcherreihe ohne Wirkung bleibt und derſelbe Ton gehört wird, als wenn nur die andere Hälfte der äußeren Löcher vorhanden wäre. Dieſer Ton iſt alſo die nächſt tiefere Octave des allen äußeren Löchern entſprechenden Tones.

Eine eigenthümliche Erſcheinung bietet der Fall dar, wenn die Löcher nicht gleich weit von einander entfernt ſind, ſondern immer ein größerer Zwiſchenraum mit einem kleineren abwechſelt, doch ſo, daß alle kleineren Zwiſchenräume unter ſich und alle größeren unter ſich gleich ſind (ſ. nebenſtehende Figur II.). Bläſt man nun einen Luftſtrom gegen die Scheibe, während ſie umgedreht wird, ſo hört man einen ſolchen Ton, als ob nur halb ſo viele Löcher da wären. Es ſcheinen ſich hier die beiden in kürzeren Zwiſchenräumen auf einander folgenden Luftſtöße zu einem einzigen zu vereinigen, und das um ſo mehr, je bedeutender der Unterſchied der größeren und kleineren Zwiſchenräume iſt. Iſt dagegen die Differenz dieſer Zwiſchenräume weniger ungleich, ſo hört man neben jenem Tone auch ſeine nächſt höhere Octave, welche der Gleichheit aller Zwiſchenräume entſpricht.

II.



An dieſe Interferenzerſcheinungen ſchließt ſich das ſogenannte Schweben der Töne an, ein periodiſch abwechſelndes Anſchwellen und Nachlaſſen derſelben, welches ſtattfindet, wenn zwei nicht ganz iſochrone Töne zu unſerem Ohre gelangen. Dieſe Töne verſtärken und ſchwächen ſich abwechſelnd, da bald Verdichtungen mit Verdichtungen, bald Verdünnungen mit Verdünnungen zuſammentreffen; ſobald

aber eine Verdichtung des einen Tones mit einer Verdünnung des anderen zusammenkommt, heben sich beide gegenseitig auf. Diese periodisch zum Bewußtsein kommenden Schwebungen der Töne nennt man nach Scheibler auch Stöße *). Hierbei tritt unter bestimmten Verhältnissen ein neuer Ton auf, den man Combinationston nennt.

Man bringt diese Stöße und Combinationstöne leicht hervor durch zwei Orgelpfeifen. Giebt die eine z. B. den Ton c, die andere die große Terz e, so erhält man als Combinationston die doppelte Unteroctave von c, weil bei dem Schwingungsverhältnisse 4:5 der beiden Töne alle fünften Schwingungen zusammenfallen, d. h. der neue Ton macht eine Schwingung, wenn c deren 4 und e deren 5 zurücklegt; eben so geben c und g, deren Schwingungsverhältniß 2:3 ist, die nächst niedere Octave von c, da alle dritten Schwingungen zusammenfallen, also der neu entstandene Ton eine Schwingung macht, wenn c deren 2 und g deren 3 zurücklegt; eben so geben c und d die dritte Unteroctave von c u. s. f. Stehen die Töne einer reinen Consonanz sehr nahe, so treten die Stöße mit Deutlichkeit auf. Hierbei verbleibt die Empfindung jedes einzelnen Tones, da die einander durchkreuzenden Wellensysteme sich nicht aufheben, durch das gegenseitige Verstärken und Schwächen der zusammentreffenden Verdichtungen und Verdünnungen entsteht aber die neue Empfindung, der Stoß. Bilden sich nun in der Zeiteinheit so viele Stöße, daß ihre Anzahl der Schwingungszahl eines Tones gleich ist, so vernimmt das Ohr nicht mehr die einzelnen Anschwellungen und Schwächungen des Tones, sondern statt dessen den Combinationston. Ist dieser neue Ton entstanden, so kann er sich mit den gleichzeitig erklingenden Tönen wiederum combiniren; als Folge davon ergeben sich also noch viele neue Töne.

Eine vollständige Erklärung der Combinationstöne besitzen wir noch nicht; Hallström **) giebt folgende Theorie, die aber nur Gültigkeit hat, wenn $\frac{s}{x}$ und $\frac{r}{x}$ ganze Zahlen sind.

Sind r und s die Schwingungen der gleichzeitig angestimmten Töne und x die Schwingungen des zugehörigen Combinationstones in einer Secunde, so vollbringen die tönenden Körper in derselben Zeit $\left(= \frac{1}{x} \right)$, in welcher dem Combinationstone eine Schwingung zukommt, respective $\frac{r}{x}$ und $\frac{s}{x}$ Schwingungen. Wenn aus ihrem Zusammenklingen eine einzige Pulsation hervorgehen soll, so müssen diese nothwendiger Weise in solchem Verhältnisse stehen, daß die Zahl $\frac{s}{1}$ um eine Einheit die Zahl $\frac{r}{x}$ übertrifft, so daß man $\frac{s}{x} = \frac{r}{x} + 1$ oder $x = s - r$ hat. Hiernach würde man folgende Combinationstöne erhalten:

*) Pogg. Ann. Bd. XXIX. S. 390; Bd. XXXII. S. 333 u 492. Vergl. Scheibler, das physikalische und musikalische Tonmesser. Essen 1834.

**) Pogg. Ann. Bd. XXIV. S. 443.

Urſprüngliche Töne.	Combinationstöne.
r, s	s — r
s — r, r	2r — s
2r — s, s	2 (s — r)
2r — s, s — r	3r — 2s

u. ſ. w.

Die hier ausgefallenen Combinationen führen auf bereits vorangegangene, alſo nicht auf neue Töne, z. B.: s — r und s geben r; 2r — s und r geben s — r u. ſ. f.

Die Stöße wurden zuerſt beobachtet von Sauveur bereits im Jahre 1700; erſt 1796 kam Sarti, Kapellmeiſter in Petersburg, hierauf wieder zurück. Die Combinationstöne hat zuerſt beobachtet G. A. Sorge 1740 *), aber nur im Allgemeinen. Romieu 1753 fand wenig Beachtung, weit mehr Tartini 1754 **), nach welchem dieſe Töne auch Tartini'ſche genannt zu werden pflegen. Die Identität der Stöße und Combinationstöne erkannte zuerſt Thomas Young 1801 ***). Von den neueren Unterſuchungen ſind die wichtigſten von Hallſtröm (a. a. O.), Scheibler (a. a. O.), Poggendorff ****), W. Weber *****), Seebeck †), Savart ††), Vincent †††).

Wie bei den Wellenbergen und Wellenthälern auf der Oberfläche tropfbarer Flüſſigkeiten zwiſchen urſprünglich fortſchreitenden und reflectirten Wellen Interferenzen eintreten, ſo iſt es auch bei den Schallwellen der Fall. Am auffallendſten iſt dies bei den ſtehenden Wellen (ſ. Art. Wellen), bei denen das Medium gleichſam in lauter einzelne für ſich ſchwingende Abtheilungen zerlegt iſt. Die ſogenannten Bäuche ſind die in Schwingung begriffenen Stellen, die Schwingungsknoten ſind die Interferenzſtellen.

Die hierher gehörigen Erſcheinungen ſind namentlich ſtudirt worden von Savart ††††) und Seebeck †††††).

Werden Schallwellen von einer Wand zurückgeworfen, ſo werden durch die directen und die ſenkrecht reflectirten Wellen innerhalb des Raumes zwiſchen dem tönenden Körper und der reflectirenden Wand Knoten und Bäuche entſtehen, wenn die beiden Wellenzüge aus Wellen von gleicher Länge und Amplitude beſtehen, und zwar in der Weiſe, daß der Abſtand zwiſchen zwei benachbarten Knoten gleich der halben Wellenlänge iſt; haben aber die beiden Wellenzüge ungleiche

---

*) Anweiſung zur Stimmung der Orgelwerke ꝛc. Hamburg 1744.

**) Trattato di Musica secondo la vera Scienza dell' Armonia. Padova 1754.

***) Vieth in Gilb. Ann. Bd. XXI S. 265 hat alles auf den hierdurch veranlaßten Streit Bezügliche zuſammengeſtellt.

****) Ann. Bd. XXXII. S. 520.

*****) Pogg. Ann. Bd. XV. S. 216; Bd. XXVIII. S. 1.

†) Dove's Repert. der Phyſ. Bd. VI. S. 90; vergl. auch Röber, ebenda Bd. III. S. 1.

††) l'Instit. 1839. p. 462; 1840. p. 6.

†††) Ann. de Chim. et de Phys. (1849) T. XXVI. p. 37.

††††) Compt. rend. T. VII. p. 1068. Ann de Ch. et de Phys. T. LXXI. p. 20; Ser. III. T. XIV. p. 385. Pogg. Ann. Bd XLVI. S. 458; Bd. LXVI. S. 374.

†††††) Pogg. Ann. Bd. LIX. S. 177; Bd. LXVII. S. 145; Bd. LXVIII. S. 465; vergl. auch Dove's Repert. der Phyſ. Bd. VI. S. 18; Bd. VIII. S. 73.

Amplituden bei gleicher Wellenlänge, so werden sich keine eigentlichen Knoten, sondern nur Schwingungsminima bilden. Schreiten die reflectirten Wellen über die Stelle des tönenden Körpers hinaus, so haben sie mit den directen Wellen gleiche Richtung, und beträgt nun bei gleicher Amplitude der Gangunterschied eine ungerade Anzahl von halben Wellenlängen, so werden sich die beiden Wellenzüge auf ihrem ganzen Wege schwächen, beträgt aber der Gangunterschied eine gerade Anzahl halber Wellenlängen, so werden sich dieselben verstärken.

Savart hat diese Resultate bestätigt gefunden und nicht nur das abwechselnde Verstärken und Schwächen eines Tones, sondern auch in der Nähe der reflectirenden Wand Töne wahrgenommen, welche aus einem Geräusche ausgeschieden wurden.

In einer Entfernung von 40 bis 50 Meter von einer ebenen senkrechten Wand und 1,3 Meter über dem Boden wurde in einem übrigens nach allen Seiten freien Raume eine Glocke aufgestellt und von ihr ein gespannter Blechstreifen senkrecht gegen die Wand geführt, dessen Richtung die Reflexionsaxe heiße. Während die mit einem verstärkenden Gefäße versehene Glocke durch einen Violinbogen in Schwingung versetzt wurde und einen Ton von bedeutender und gleichmäßiger Stärke gab, wurde das der Tonquelle abgewandte Ohr, während das zugewandte verschlossen war, längs einer dem Blechstreifen möglichst nahen geraden Linie fortgeführt. Die Stärke des Tones war nicht in allen Punkten der Reflexionsaxe gleich, sondern in mehreren Punkten Null, in anderen erreichte sie ihr Maximum, und da die mit diesen Eigenthümlichkeiten begabten Punkte eine unveränderliche Lage zeigten, so war es möglich, sie auf dem Blechstreifen zu verzeichnen und ihre Abstände von einander zu messen. Die Knoten ergaben sich hierbei auf der ganzen Reflexionsaxe in nahe gleichen Abständen von einander; dieser Abstand war gleich der Hälfte der dem Tone der Glocke zukommenden Wellenlänge; die Bäuche standen eben so weit von einander ab und die Stärke des Tones nahm allmälig zu oder ab, je nachdem man sich einem Bauche näherte oder von demselben entfernte. Auffallend war bei der Beobachtung jedoch, daß die Entfernung des ersten Knotens von der Wand viel kleiner war, als eine halbe Welle; denn während der Mittelwerth der einzelnen Knotenabstände von einander, also der halben Wellenlänge, $0^m,6186$ war, betrug diese Entfernung nur $0^m,373$.

Versuche mit höheren und tieferen Glocken, mit Orgelpfeifen und Saiteninstrumenten gaben übereinstimmende Resultate.

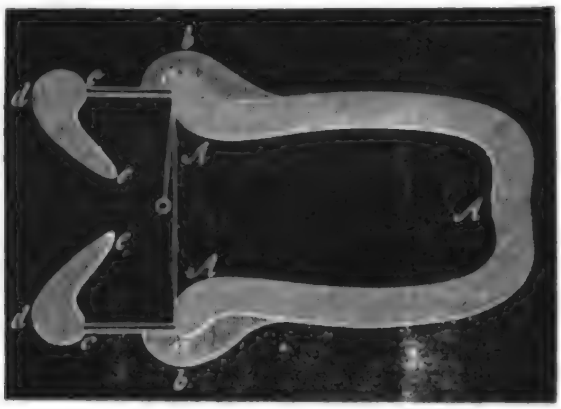
Seebeck wiederholte diese Versuche, ermittelte aber die Knoten und Bäuche nicht direct mit dem Ohre, sondern bediente sich einer in einem Ringe von $1^1/_2$ Durchmesser ausgespannten Membran von Goldschlägerhäutchen oder sehr dünnen Kautschuk mit einem Pendelchen, das aus einem einfachen Coconfaden mit einem Siegellacktropfen von der Größe eines Stecknadelknopfes bestand und von dem oberen Rande bis zur Mitte der vertical gestellten Membran herabreichte. Die Membran, auf einem schmalen Ständer befestigt, wurde mit der reflectirenden Wand parallel gestellt, und konnte dieser genähert und von ihr entfernt werden. Er experimentirte zum Theil im Freien bei völliger Windstille, zum Theil, und zwar mit gleichem Erfolge, in einem großen Saale unter Bedingungen, welche einen merklich störenden Einfluß der von der Decke und den Wänden reflectirten Wellen nicht befürchten ließen. Als reflectirende Wand diente eine sehr große

und ſtarke, vertical aufgeſtellte Tiſchplatte, und zur Hervorbringung des Tones wurde eine Glocke oder eine Stimmpfeife benutzt.

Bei dieſen Verſuchen ergab ſich die Entfernung der Bäuche gleich einer ungeraden, und die der Knoten gleich einer geraden Anzahl von Viertelwellen.

Die Verſchiedenheit ſeiner Reſultate und derjenigen von Savart findet Seebeck dadurch herbeigeführt, daß er nicht unmittelbar mit dem Ohre, ſondern mit der Membran die betreffenden Stellen beſtimmte. Er vermuthete nämlich, daß die directen Wellen, welche um den Kopf des Beobachters herumgehen müſſen, um zu dem der Wand zugekehrten Ohre zu gelangen, mit dieſer Umbiegung ihrer Fortpflanzungsrichtung zugleich eine entſprechende Veränderung ihrer Schwingungsrichtung erleiden. Dies zur Entſcheidung zu bringen, experimentirte er erſtens auf die oben angegebene Weiſe mit der Membran, zweitens mit folgendem Apparate, in welchem er gewiſſermaßen den Kopf des Beobachters nachbildete.

Ueber die Oeffnung eines ſtarken Porcellangefäßes A A A iſt eine dünne Membran a a geſpannt, an welcher ein paar leichte Pendelchen hängen, wie bei den vorhergehenden Verſuchen. Auf den Umfang dieſer Membran iſt ein hohler Glascylinder c a a c aufgeſetzt, und bei b b an dem Porcellangefäß mit Wachs ſo befeſtigt, daß alle Fugen dicht zugedeckt ſind. Auf den anderen Rand c c dieſes Cylinders iſt eine Art Trichter d d e e aufgeſetzt, welcher ebenfalls aus Wachs gebildet iſt. (Die nebenſtehende Figur ſtellt den Apparat dar in halber Größe im Längendurchſchnitte.)



Der Schall kann zu der Membran nur durch den Trichter gelangen und iſt dieſer gegen die Wand gekehrt, ſo muß der directe Schall, da die Fortpflanzung durch die feſten Theile des Apparates äußerſt unvollkommen iſt, erſt an dem Gefäße vorbeigehen und dann bei d d umgebogen werden; der zurückgeworfene Schall dagegen tritt geradezu in den Trichter. Beide Wellenzüge müſſen offenbar in dieſem Falle ebenfalls interferiren.

Die Verſuche mit dieſem Apparate ergaben, daß die Knoten jetzt da liegen, wo vorher die Bäuche lagen, und umgekehrt. Es folgt alſo hieraus, daß bei der Beugung des Schalles zugleich mit der Richtung der Fortpflanzung auch die Schwingung umgebogen wird.

Der Widerſpruch bei den in Rede ſtehenden Erſcheinungen löſt ſich hierdurch vollſtändig und befriedigend auf. Höchſt unwahrſcheinlich erſcheint dagegen Savart's Anſicht, daß die ſtehenden Wellen ihre unmittelbare Urſache in den Schwingungen der Wand haben, und daß die von der urſprünglichen Schallquelle herkommenden Wellen nur in ſofern zu der Erſcheinung mitwirken, als ſie der Wand die Schwingungsbewegung ertheilen.

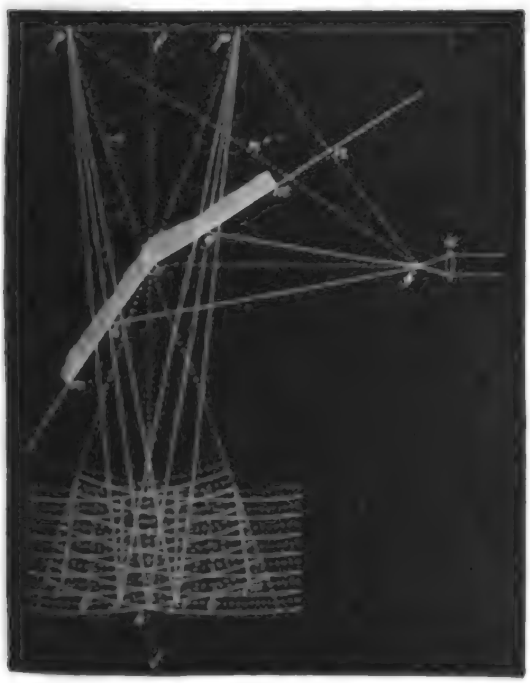
Digitized by Google

Auf die Interferenz der Schallwellen führt Kämtz *) auch das Rollen des Donners zurück, was wir hier jedoch nur beiläufig anführen, da bereits im Art. Gewitter Abth. Donner **) hierauf Bezug genommen iſt.

b. Interferenz des Lichtes.

Die Principien der Interferenz des Lichtes ſind zwar ſchon 1802 von Th. Young ***) aufgeſtellt, aber erſt Fresnel hat durch ſeine ausgezeichneten Arbeiten es außer Zweifel geſetzt, daß die Verbreitung des Lichtes keine andere als eine wellenförmige ſein kann ****). Wir müſſen hier wegen des Eigenthümlichen in der die Empfindung des Lichtes erzeugenden Bewegung des Aethers auf den Art. Licht verweiſen, und führen nur an, daß der Aether als ein ſehr feines elaſtiſches Fluidum zu betrachten iſt, welches alle Himmelsräume erfüllt und alle Körper durchdringt, und daß das Weſen des Lichtes auf Schwingungen beruht, welche in demſelben bis auf die Netzhaut unſeres Auges fortgepflanzt werden.

Fresnel's entſcheidender Verſuch iſt folgender: Fällt von dem leuchtenden Punkte f (ſ. beiſtehende Figur) auf zwei Spiegel c m und c m', welche unter einem ſehr ſtumpfen Winkel zu einander geneigt ſind, Licht, ſo müſſen in den Punkten p und p' zwei einander ſehr nahe liegende Spiegelbilder des leuchtenden Punktes entſtehen. Die von den Spiegeln reflectirten Strahlen kommen ſcheinbar von den Punkten p und p', von denen jeder hinter dem entſprechenden Spiegel eben ſo weit entfernt liegt, als der leuchtende Punkt f vor demſelben, ſo daß alſo fn = np und fn' = n'p' iſt. Dieſe reflectirten Strahlen werden ſich vor den Spiegeln in einer gewiſſen Entfernung durchſchneiden, und wendet man nun homogenes Licht an *****), ſo bilden ſich abwechſelnd helle und dunkle Streifen. Denken wir uns von p als Mittelpunkt aus einen Kreis mit dem Radius p b geſchlagen, wo b auf der von c aus auf p p' ſenkrecht gezogenen Linie l c liegt, ſo



*) Meteorologie Bd. II. S. 435.

**) Bd. III. S. 598.

***) Gilb. Ann. Bd. XXXIX. S. 156. 206. 253, namentlich in Betreff der Interferenz S. 262, aus: Philos. Transact. of the R. Soc. of London for 1802.

****) Pogg. Ann. Bd. III. S. 89 u. 303, namentlich S. 109—122; Bd. V. S. 223; Bd. XII. S. 197; Bd. XXX. S. 100; Fresnel, Mémoire sur la diffraction de la lumière in den Mém de l'Acad. roy. des sciences. T. V. p. 339.

*****) Vergl. Art. Farbe. Bd. III. S. 25 und 26.

befinden ſich alle auf dieſem Kreisbogen liegenden Aethertheilchen b, s, b', s' ... durch die von dem Spiegel c m reflectirten Strahlen in denſelben Schwingungszuſtand verſetzt, ſo daß ſie alle in demſelben Augenblicke nach derſelben Richtung vibriren. Denken wir uns von demſelben Punkte p aus durch s' einen zweiten Kreis geſchlagen, aber mit einem um eine halbe Lichtwelle kleineren Radius, ſo müſſen auf dieſem alle Aethertheilchen in einer Richtung ſchwingen, welche derjenigen entgegengeſetzt iſt, in welcher ſich die Aethertheilchen auf dem erſten Kreiſe bewegen. Die Figur ſtellt mehrere ſolcher concentriſcher Kreiſe dar, und zwar ſo, daß die Entfernung zweier ausgezogener eine ganze, hingegen die Entfernung eines ausgezogenen und eines punktirten nur eine halbe Lichtwelle beträgt. Verfährt man in gleicher Weiſe mit dem Punkte p' als Mittelpunkt, ſo ergiebt ſich der Schwingungszuſtand der Aethertheilchen durch die Reflexion von dem Spiegel c m'.

Da der Punkt b von den Punkten p und p' in gleicher Entfernung liegt, ſo ſind auch die Wege l g b und l h b einander gleich, folglich wird das Aethertheilchen in b von den beiden Wellenſyſtemen, welche die Strahlen h b und g b fortpflanzen, nach derſelben Richtung getrieben und ſeine Vibrationsintenſität iſt daher doppelt ſo groß, als wenn es nur durch ein Wellenſyſtem in Bewegung geſetzt würde. Das Theilchen s erleidet von den durch den Spiegel c m reflectirten Strahlen dieſelbe Einwirkung wie das Theilchen b, hingegen von dem durch den Spiegel c m' reflectirten Wellenſyſteme die gerade entgegengeſetzte. Da ſich beide Einwirkungen aufheben, ſo wird an dieſer Stelle die Vibrationsintenſität Null, und mithin entſteht hier Dunkelheit. Zu einem gleichen Reſultate führt die Betrachtung anderer Punkte. In allen den Punkten, in welchen ſich zwei ausgezogene oder zwei punktirte Kreiſe ſchneiden, wird die Intenſität des Lichtes verſtärkt, da beide Wellenſyſteme in demſelben Sinne bewegend wirken; in allen den Punkten hingegen, in welchen ſich ein ausgezogener und ein punktirter Kreis ſchneiden, entſteht Dunkelheit, weil die beiden Wellenſyſteme entgegengeſetzt wirken. In den mit b bezeichneten Punkten tritt alſo eine Verſtärkung des Lichtes ein, in den mit s bezeichneten Dunkelheit; bei den erſten ſind die von den Lichtwellen zurückgelegten Wege um 0, 1, 2, 3 ..., bei den anderen um $^1/_2$, $^3/_2$, $^5/_2$ ... Wellenlängen unterſchieden.

Dies eben aus der Wellentheorie abgeleitete Reſultat fand Fresnel durch das Experiment beſtätigt. Wegen der Wichtigkeit dieſes Experimentes geben wir noch folgende nähere Beſtimmungen *).

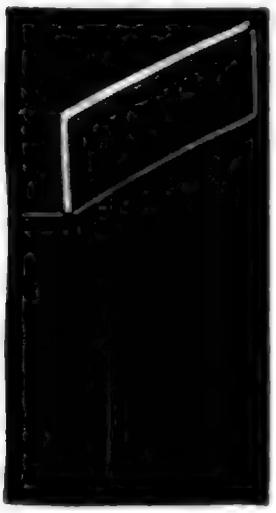
Ein Stück nicht zu dickes Spiegelglas von 2 bis 3 Zoll Länge, 1 bis $1^2/_3$ Z. Höhe, wird durch einen ſcharfen Diamantſtrich in der Mitte geſchnitten; beim Brechen entſteht dann auf der gegenüberliegenden Fläche meiſt eine gerade reine Kante; wäre es nicht der Fall, ſo verſucht man es mit einem anderen Stück. Auf den drei übrigen Rändern werden die Spiegel mit Sand roh zugeſchliffen.

Sie werden nun auf der Seite, wo der Diamantſchnitt gemacht wurde, mit Tuſche geſchwärzt, und deshalb vorher mit Fließpapier und Spiritus ſorgfältig gereinigt, weil ſich ſonſt nie eine gleichförmige Schwärze erzeugt. Die Tuſche wird ſtark angerieben und mit einem Pinſel 4 bis 6 Mal aufgetragen, bis eine undurchſichtige Schicht entſtanden iſt. Die folgenden Anſtriche müſſen mit leichten parallel

*) Phyſikaliſche Technik von Frick. Braunſchweig 1850. S. 167.

neben einander gesetzten Pinselstrichen gemacht werden, weil beim mindesten Reiben die schon angetrocknete Schicht wieder losgeht und dadurch Flecken entstehen.

Die so zugerichteten Spiegel befestigt man mittelst Klebwachs auf einem geschwärzten, aber nicht polirten Klötzchen, so daß sie mit der Schnittfläche an einander stoßen. An dieser Stelle müssen die Spiegel etwas niedergedrückt werden, bis sie eine Neigung gegen einander erhalten, die aber nur so schwach sein darf, daß man eine 10 bis 20 Schritte entfernte Fensterspange auf beiden Spiegeln nur eben noch doppelt sieht. Keiner der Spiegel darf über den anderen an der Schnittfläche hervorragen, worüber man sich durch das Gefühl mit der Fingerspitze versichert.



Nebenstehende Figur stellt die so angefertigten Interferenzspiegel dar zugleich mit einem an dem Klötzchen befestigten Stifte, um den Apparat auf einem Stative aufstellen zu können.

Kostspieliger sind die Apparate aus Stahlspiegeln, oder auch aus Glasspiegeln der oben beschriebenen Art, deren Neigung durch Federn und Schrauben regulirt werden kann. Als Lichtquelle kann man bei dem Versuche selbst das Sonnenbildchen im Brennpunkte einer Linse von kurzer Brennweite oder das auf einem Metallknopfe und dergleichen erzeugte Sonnenbild benutzen. Noch besser ist eine Lichtlinie, welche man entweder im Laden eines dunklen Zimmers vermittelst eines schmalen verticalen Spaltes, durch den man die Strahlen mit Hülfe eines vor dem Laden angebrachten Spiegels in horizontaler Richtung eintreten läßt, hervorbringt oder dadurch, daß man die Spalte vor die Flamme einer Argand'schen oder Brewster'schen *) Lampe setzt. Fresnel bediente sich zum Hervorbringen der Lichtlinie einer Cylinderlinse, welche aus zwei Cylindersegmenten zusammengesetzt ist.

Die beiden geschwärzten Spiegel werden in gleicher Höhe mit der Lichtflamme und etwa 10 bis 15 Schritte von ihr entfernt aufgestellt. Die Kante, in welcher die beiden Spiegel zusammenstoßen, muß der Flamme oder der Spalte so gut als möglich parallel gestellt werden, und die Spiegel selbst eine solche Lage haben, daß die Strahlen mit ihnen einen außerordentlich kleinen Winkel bilden, und das Auge in einer Entfernung von 1 bis 2 Fußen beinahe in gerader Linie mit der Mittellinie der Spiegel und der Spalte steht. Sieht man so die Kerzenflamme, so bemerkt man schon mit freiem Auge feine Interferenzlinien, wenigstens wenn man kurzsichtig ist, und die Sache schon kennt. Schöner aber und für jeden überraschend deutlich sieht man dieselben durch eine Loupe von 4 bis 6maliger Vergrößerung. Man befestigt dieselbe am zweckmäßigsten in der Mitte eines schwarzen gestielten Bretchens, welches in der angegebenen Entfernung auf einem Stative aufgestellt wird.

Pouillet ersetzte die Interferenzspiegel durch ein Interferenzprisma,

*) Art. Farbe. Bd. III. S. 26.

deſſen beide Flächen a und b der beiſtehenden Figur einen kleinen brechenden Winkel haben. Von alten Spiegeln, welche mit einer ſchwachen Randfacette verſehen ſind, kann man paſſende Stücke erhalten, die man dann mit Canadabalſam an einander kittet. Die beiden Flächen a und b machen einen ſehr ſtumpfen Winkel mit einander, ſo daß die aus ihnen austretenden Strahlen von zwei Lichtquellen zu kommen ſcheinen, welche ſehr nahe bei einander liegen. Bei Verſuchen mit einfarbigem Lichte ſind dergleichen Prismen beſonders brauchbar.

I.

Wendet man verſchiedenes homogenes Licht an, ſo zeigen ſich für die dunklen Streifen verſchiedene Entfernungen; für homogenes Blau iſt dieſelbe z. B. kleiner als für Roth. Hieraus folgt, daß die Wellenlängen im Allgemeinen um ſo kürzer ſind, je brechbarer die farbigen Strahlen ſind. Eben darin iſt es begründet, daß bei weißem Lichte die erſten hellen Streifen von der Mitte aus gerechnet nach Außen hin roth, nach Innen blau erſcheinen. Fresnel maß die Entfernung der dunklen Streifen ss' (Fig. S. 109) von einander, die Neigung der beiden Spiegel me und m'e und die Entfernung der Lichtquelle, berechnete hieraus die Wege der nach b, s', b', s''' .... durch den Spiegel em reflectirten Strahlen, und beſtimmte hieraus pb — ps' oder die halbe Wellenlänge. Die Reſultate Fresnel's finden ſich im Art. Farbenringe Newton's Bd. III. S. 79.

Das Schlagende in dem Fresnel'ſchen Verſuche liegt darin, daß die interferirenden Lichtſtrahlen beide in gleicher Weiſe regelmäßig nach anerkannt gültigen Geſetzen von den Spiegelflächen reflectirt werden, ohne daß dabei ein fremdartiger Umſtand — etwa eine Molecularaction zwiſchen den Theilchen eines Körpers und denen des Lichtes — obwaltete, welcher auf das Reſultat möglicherweiſe von Einfluß ſein könnte. Man kann deshalb nicht anders, als das Interferenzprincip, und mit demſelben die Undulations- oder Vibrationstheorie des Lichtes anerkennen.

Steht dies Princip feſt, ſo iſt klar, daß man die Interferenzerſcheinungen auch noch auf anderem Wege wird zur Wahrnehmung bringen können. So iſt es Lloyd gelungen, indem er directes und reflectirtes Licht auf einander einwirken ließ *).

Lloyd ließ durch eine ſchmale horizontale Spalte, die durch zwei in einem Rahmen verſchiebbare Metallplatten gebildet wurde, Licht von einer Lampe gehen, und fing dies von der Spalte ausfahrende Licht in einem Abſtande von ungefähr 3 Fuß mit einem ſchwarzen, wohl polirten und horizontalen Glaſe auf. Dieſer Reflector wurde hierauf ſo befeſtigt, daß ſeine Ebene etwas unterhalb der Oeffnung lag, oder — mit anderen Worten — daß das Licht ungefähr unter 90° auf denſelben fiel. In nebenſtehender Fig. II. ſtelle a die Spalte vor, b den Reflector. Offenbar muß das bei b ſo ſchief reflectirte Licht bc mit dem unter einem ſehr

II.

*) Poggendorff's Ann. Bd. XLV. S. 95 aus: Transact. of the R. Irish Acad. Vol. XVII. (1834.)

kleinen Winkel divergirenden directen Lichte a c bei c zusammentreffen mit einem Unterschiede im Wege, welcher fast einer unendlichen Verringerung fähig ist. Die beiden Lichtbündel sind also im Stande zu interferiren, und wirklich sah Lloyd, als er sie in kurzer Entfernung von dem Reflector mit einer Loupe auffing, ein sehr schönes Fransensystem, welches in jeder Hinsicht der einen Hälfte des im Fresnel'schen Versuche durch die beiden Spiegel gebildeten Systems ähnlich war.

Die erste Franse war eine helle und farblose; ihr folgte eine sehr scharf begrenzte schwarze, dann eine helle farbige und so abwechselnd fort. Am vollkommensten begrenzt waren diese Fransen, wenn die Loupe sich dicht am Reflector befand.

Einen interessanten Interferenzversuch hat Talbot angegeben *). In eine Karte mache man ein kreisrundes Loch, so groß als die Pupille des Auges. Die eine Hälfte dieses Loches bedecke man mit einem äußerst dünnen Glas- oder Glimmerblättchen. Betrachtet man nun durch diese Oeffnung ein Spectrum, welches mittelst eines Prisma von mäßiger Dispersion gebildet worden ist, so erscheint dasselbe auf seiner ganzen Länge bedeckt mit parallelen dunklen Strichen, ähnlich denen, welche durch Absorption in Jodgas erzeugt werden.

Die Ursache ist jedenfalls die, daß diejenige Hälfte des Lichtes, welche durch das dünne Glasblättchen gegangen ist, um eine gewisse Quantität in seinen Undulationen verzögert wird.

Poggendorff **) hat auf ein Interferenzphänomen aufmerksam gemacht, welches man an jedem Barometer, das mit Mikroskopen zur Ablesung versehen ist, an dem Fadenkreuze dieser Mikroskope beobachtet, sobald die Fäden hinreichend dünn sind, der erleuchtete Theil der Quecksilberkuppe hinter dieselben gestellt ist, und das Auge in schiefer Richtung, entweder von oben, von unten oder von der Seite her, in das Mikroskop blickt. Man trifft dann leicht die Stellung, bei welcher die Fäden, welche sich bei geradem Hineinsehen kohlenschwarz auf die Quecksilberfläche projiciren, im strengsten Gegensatze dazu silberweiß und leuchtend erscheinen.

Es versteht sich von selbst, daß die Interferenz der Lichtstrahlen nur stattfinden kann, wenn die interferirenden Bündel homogen sind, weil bei nicht-homogenen in den beiden einander überdeckenden Bewegungen kein bleibendes Verhältniß stattfindet. Das Interferenzphänomen wird indessen auch bei homogenen Lichtstrahlen immer schwächer, endlich ganz unwahrnehmbar, wenn man den Gangunterschied vergrößert. Fizeau und Foucault ***) haben hierauf bezügliche Untersuchungen angestellt.

Wenn ein und derselbe Ort im Raume durch zwei weiße aus derselben Lichtquelle stammende Lichtstrahlen erleuchtet ist, von denen der eine hinter dem anderen etwas zurück ist, so kann die Interferenz nur beobachtet werden, sobald der Gangunterschied — wie bei dem Fresnel'schen Spiegelversuche — nicht sehr bedeutend ist. Anstatt diesen erleuchteten Ort selbst zu betrachten, kann man ihn als Strahlungsmittelpunkt nehmen, einen begrenzten Theil davon durch eine Spalte

*) Pogg. Ann. Bd. XLII. S. 234. Philos. Magaz. Ser. III. Vol. X. p. 364.
**) Ann. Bd. XLII. S. 516.
***) Compt. rend. T. XXI. p. 1153. Pogg. Ann. Ergänzungsb. Bd. LXXII. b S. 355; Inst. N. 621. p. 411.

gehen lassen, und hiermit durch eine passende brechende Vorrichtung ein sehr reines Spectrum erzeugen, welches bei Anwendung von Sonnenlicht nicht nur alle Frauenhofer'schen Linien *) zeigt, sondern außerdem noch von dunklen Interferenzstreifen, welche den festen Linien parallel sind, durchzogen ist. (S. Artikel Inflexion.)

Dieser Methode bedienten sich Fizeau und Foucault. Es läßt sich dieselbe sowohl für die Interferenzen anwenden, welche durch zwei geneigte Spiegel hervorgebracht werden, als für die durch die Reflexion an den beiden Flächen dünner Blättchen, oder für die durch die verschiedene Geschwindigkeit der Lichtstrahlen bei der Doppelbrechung entstehenden.

Mittelst Fresnel'scher Spiegel beobachteten sie noch Interferenzen, wenn der Gangunterschied für die blauen Strahlen im Spectrum bei der Linie F, 1737 Wellenlängen betrug. Durch Reflexion an den beiden Oberflächen einer dünnen Glasplatte wurde die Interferenz noch nachgewiesen, als der Gangunterschied die Zahl 3406 Wellenlängen erreichte. Mit Krystallblättchen wurde das Phänomen bis zu merkwürdigen Dicken verfolgt, so gab z. B. eine der Axe parallele Bergkrystallplatte von $54^{mm},6$ Dicke, so wie eine eben so geschnittene Platte von isländischem Kalkspathe von $4^{mm},79$ Dicke sehr hübsche Interferenzphänomene, obwohl der Gangunterschied bei der ersten 1082 und bei der anderen 1692 Wellenlängen betrug.

Da es sich in diesem Artikel nur um Feststellung des Interferenzphänomens an sich handelt, so brechen wir hier ab. Secundäre Interferenzen kommen zur Sprache in dem Artikel: Inflexion, Farbenringe Newton's, Polarisation. Namentlich verdient die Inflexion die größte Beachtung, weil durch dieselbe zum Theil die Interferenz nachgewiesen worden ist, wo andere directe Wege vergeblich eingeschlagen wurden; der Abschnitt dieses Artikels: C. Inflexion der Wärme ist geradezu als eine Ergänzung des vorliegenden zu betrachten.

In Betreff der elektrischen Ströme ist zu bemerken, daß bis jetzt eine eigentliche Interferenz bei ihnen noch nicht wahrgenommen ist. Zwar wollte de la Rive **) eine solche entdeckt haben; indessen hat Lenz ***) den Beweis geliefert, daß das Ohm'sche Gesetz zu der fraglichen Erscheinung den genügenden Aufschluß bietet. H. E.

Interferenzfarben, s. Farbenringe und Inflexion.

Intervalle, musikalische, s. Ton.

Inversor (v. d. lat. invertere, umkehren) oder Commutator (v. d. lat. commutare, verändern) oder Gyrotrop (v. d. griech. γῦρος, Kreis und τρέπω ich wende) ist ein Hülfsapparat bei elektrischen, namentlich elektromagnetischen Ver-

---

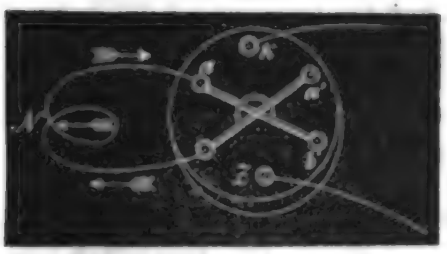
*) Vergl. Art. Farbe, Bd. III. S. 24.

**) Pogg. Ann. XLV. S. 434. Mém. de la Soc. de phys. et d'hist. nat. de Genève. T. VIII.

***) Pogg. Ann. Bd. XLVIII. S. 416; Bullet. de la Soc. de Peterab. T. V.

ſuchen, mittelſt deſſen auf bequeme und dem Zwecke entſprechende Weiſe eine Umkehrung des durch einen Leiter fließenden elektriſchen Stromes bewirkt wird, ſo daß der poſitive Strom, welcher den Leiter in einer beſtimmten Richtung durchlief, ſofort in die entgegengeſetzte Richtung gebracht werden kann.

Ein ſehr einfacher und bei den verſchiedenartigſten Verſuchen anwendbarer Stromumwender iſt das Pohl'ſche Gyrotrop *). In ſeiner einfachſten Geſtalt beſteht daſſelbe nur aus zwei Stücken. Das eine iſt eine runde Scheibe aus feſtem Holze, etwa von 4 Zoll im Durchmeſſer und 1 Zoll dick. In gleichen Abſtänden von einander ſind an ihrem Umfange ſechs, etwa $^3/_8$ Zoll breite und tiefe cylindriſche Löcher, a, b, a', b', k und z, gebohrt, die mit kleinen Kupfernäpfchen ausgefüttert ſein können, wiewohl dies auch nicht gerade nöthig iſt, und von welchen zwei Paar, diametral gegenüberliegende, a und b', b und a', wie es die Zeichnung darthut, durch an die Näpfchen gelöthete, oder in die Löcher hineinreichende, ſtarke Kupferdrähte mit einander verbunden ſind, wobei der eine von ihnen in der Mitte eine ſolche Biegung erhalten muß, daß dadurch eine Berührung beim Durchkreuzen beſeitigt wird, alſo gar keine leitende Verbindung zwiſchen den Drähten ſtattfindet.



In die ſechs Näpfchen wird Queckſilber geſchüttet. Die unverbundenen k und z werden mit dem poſitiven und negativen Pole des elektriſchen Erregers (z. B. der Kette) in Verbindung geſetzt, und von den vier übrigen Näpfchen werden zwei neben einander liegende, z. B. a und b, mit den Enden des zu dem Apparate, in welchem eine Umkehrung des Stromes beabſichtigt wird, führenden Leitungsdrahtes durch Eintauchung verbunden.

Geſetzt nun, man füllte die jetzt noch beſtehende kleine Lücke zwiſchen k und a durch einen kleinen, an den Enden umgebogenen, und in die Vertiefungen bei k und a eintauchenden Draht aus, und eben ſo die Lücke zwiſchen z und b; ſo durchläuft, wenn der Draht z die poſitive Elektricität herbeiführt, der Strom den Weg zbNak, geht mithin im Drahte N nach der durch den oben und unten ſtehenden Pfeil bezeichneten Richtung. Wenn man dagegen die Lücke zwiſchen k und a' und zwiſchen z und b' auf die eben angegebene Weiſe ausfüllte, ſo wird, wie leicht zu erachten, der Strom in dieſem Drahte gerade die entgegengeſetzte Richtung erhalten. Begreiflich kann an die Stelle des Drahtes N ein beliebiges Syſtem gebracht werden, auf welches der Strom einwirken ſoll.

Um jedoch den angegebenen Wechſel noch bequemer und ungleich ſchneller zu bewerkſtelligen, als es durch das vereinzelte Ausheben und wieder Einlegen der beiden kleinen Drähte von der einen auf die andere Seite möglich iſt, bedient man ſich dazu eines einzigen Gliedes, welches das zweite Stück der ganzen Vorrichtung ausmacht, in umſtehender Figur abgebildet iſt und die Wippe heißen möge. Es beſteht dieſe Wippe aus einem kupfernen Drahtbügel ktmz, auf welchem in der Gegend der Biegung, bei t und m, die bogenförmigen Kupferdrahtſtücke ata',

*) Pogg. Ann. Bd. XXXIV. S. 185.

b m b', aufgelöthet ſind. Die Dimenſionen ſind dabei ſo genommen, daß die Enden k und z in die gleichnamigen Näpfe der vorhergehenden Figur neben den Polardrähten des elektriſchen Apparates gleichzeitig eingetaucht werden können, und daß, wenn die Schenkel k t und m z ſenkrecht ſtehen, die Enden der Bogen, ſowohl a' u. b', als auch a u. b, die Scheibe, insbeſondere das Queckſilber in den unter ihnen befindlichen Näpfen, nicht berühren, daß hingegen, je nachdem man den Bügel auf die eine oder die andere Seite neigt, entweder die Enden a und b in die gleichnamigen Näpfe der Scheibe greifen und, mit k und z in eine Ebene fallend, dem Bügel eine feſte, hinlänglich unterſtützte Lage verſtatten, worin er ſich durch ſich ſelbſt erhält, während a' und b' ſchräg aufwärts frei in die Luft hinein ragen, oder umgekehrt a und b, wenn a' und b' in die entſprechenden Näpfe tauchen. Aus dem Bügel k t m z iſt nun in der Mitte ein Stück herausgeſchnitten, und an der Stelle deſſelben befindet ſich ein Griff von Glas oder Holz, in welchen die Enden t und m, ohne leitende Gemeinſchaft mit einander zu haben, eingekittet ſind.

Es erhellt leicht von ſelbſt, wie durch die Verbindung dieſes zweiten Stückes, der Wippe, mit dem erſten und durch ein bloßes Umbiegen von der einen zur anderen Seite die plötzliche Umkehrung des Stromes bewerkſtelligt werden kann. Auch läßt ſich leicht einſehen, wie man da, wo die Einwirkung eines Leiters auf einen zweiten nachgewieſen werden ſoll, zwei ſolche Apparate mit einander verbinden, und nachdem der Strom durch den einen hindurchgeführt, ihn nun auf gleiche Weiſe auch durch den anderen hindurch leiten könne, ſo daß der Gang des Stromes in jedem der beiden Leiter, oder auch in beiden zugleich, ſo ſchnell und ſo oft man will, verändert werden kann.

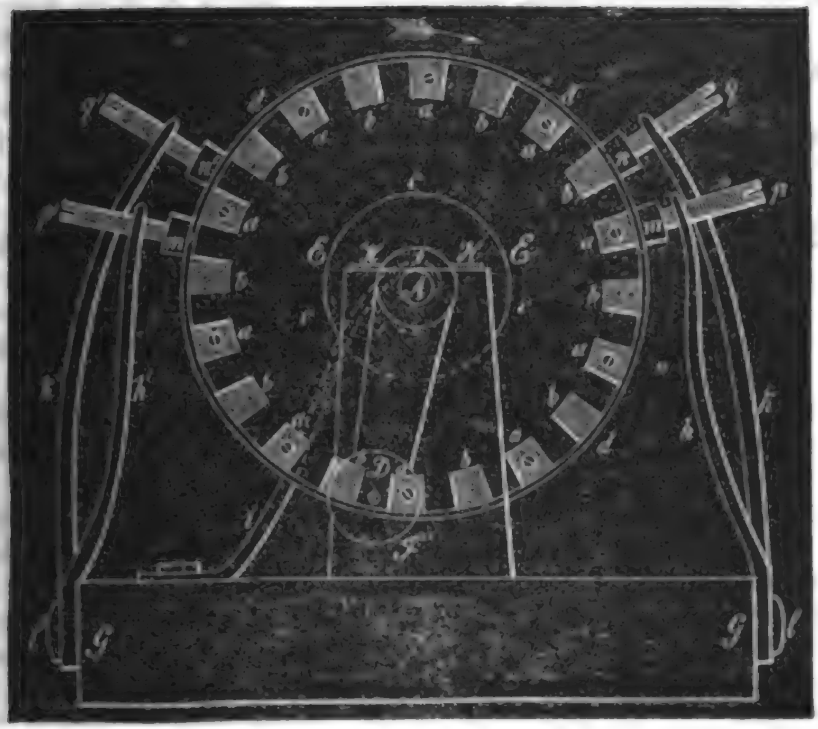
Ein ähnliches Gyrotrop hat Ampère *) an dem nach ihm genannten Apparate zur Darlegung der Geſetze, nach welchen elektriſche Leiter auf einander einwirken **), angebracht; da indeſſen das Princip mit dem des Pohl'ſchen Gyrotrops übereinſtimmt und dies Inſtrument entſchieden einfacher iſt, ſo können wir die nähere Beſchreibung ***) übergehen. Wo es ſich um Anſchaffung eines Gyrotrops handelt, dürfte jetzt nicht leicht das Ampère'ſche gewählt werden. Eben ſo ſei nur hiſtoriſch die Wippe Poggendorff's erwähnt ****), die als eine Verallgemeinerung der Pohl'ſchen anzuſehen iſt.

Wo es darauf ankommt, den Strom einer hydro- oder thermoelektriſchen Kette oftmals in einer gegebenen Zeit mit Bequemlichkeit umzukehren, empfiehlt ſich der Inverſor von Poggendorff *****).

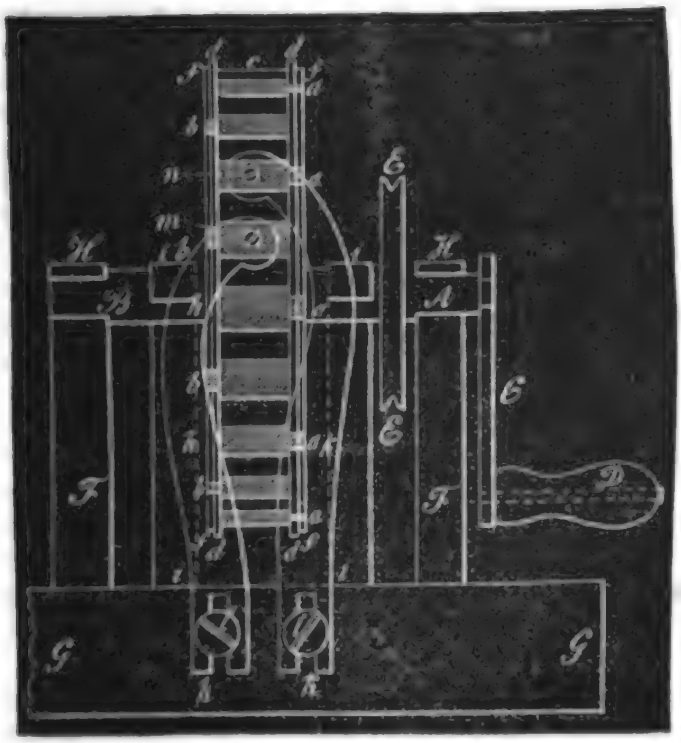
Es liegt dieſem Inverſor das Princip des Reef'ſchen Blitzrades zu Grunde, und beſteht derſelbe zunächſt aus einer etwa 4 Linien dicken Holzſcheibe c, c, c, in welche Kupferſtücke a und b, zwanzig an der Zahl, vom Rande her eingelaſſen ſind. An dieſe legen ſich, von beiden Seiten, die etwas größeren, aber nur etwa 0,5 Linie dicken Holzſcheiben d, und an dieſe wiederum die beiden Kupfer-

*) Ann. de Ch. et de Phys. T. XXVI. p. 390.
**) Vergl. Art. Elektromagnetismus. Bd. II. S. 802.
***) Gehler's phyſ. Wörterb. N. B. III. S. 555.
****) Pogg. Ann. Bd. LXI. S. 586.
*****) Pogg. Ann. Bd. XLV. S. 385.

I.



II.



ſcheiben f, f, deren Durchmeſſer dem der dicken Holzſcheibe gleich ſind. Die kupferne Axe A B des Inſtrumentes hängt nicht zuſammen, ſondern es iſt die Hälfte A an die eine und die Hälfte B an die andere dieſer Kupferſcheiben f, f feſt angelöthet. Eben ſo ſind die Kupferſtücke a und b durch Schrauben abwechſelnd mit der einen und der anderen Kupferſcheibe verbunden, und zwar ſo, daß die Stücke a auf dieſe Weiſe mit der Axenhälfte A, und die Stücke b mit der Axenhälfte B in leitender Verbindung ſtehen. Die Axe A B ruht auf den vom Brete G G getragenen Ständern F, F in Pfannen, die durch die aufgeſchrobenen Meſſingplatten H H bedeckt ſind. Die Axe wird durch die Kurbel C D in Bewegung geſetzt, und um ihr auch eine ſehr bedeutende Rotationsgeſchwindigkeit geben zu können, iſt ſie noch mit der Rolle E E verſehen, welche man durch eine Schnur mit einer Centrifugalmaſchine oder ähnlichen Vorrichtung zu verbinden hat. Ein Räderwerk würde natürlich demſelben Zwecke entſprechen.

Gegen den Rand der Scheibe drücken die Kupferſtäbchen n m mittelſt der Kupferfedern h k, in welchen ſie mit ihren oberen Theilen p q eingeſchroben ſind. Durch mehr oder weniger tiefes Einſchrauben in die Federn kann man den Druck der Stäbchen gegen die Scheibe beliebig vergrößern oder verkleinern. Die Federn ſind durch Schrauben l, l am Brete befeſtigt, und können, mittelſt Ausſchnitte an ihren unteren Enden, die man in vorſtehender Fig. II. ſieht, ſo geſtellt werden, daß, wie aus Fig. I. am beſten zu erſehen, die Stäbchen n m genau den Abſtand zweier der Stücke a, b von einander haben. Die Federn h', k' mit den Stäbchen m' p', n' q' haben ganz dieſelbe Einrichtung, und ſind eigentlich nur eine Zugabe zum Inſtrumente.

Will man mit dem Inverſor den Strom einer Volta'ſchen Kette in abwechſelnd entgegengeſetzter Richtung, z. B. auf die Nadel eines Multiplicators wirken laſſen, ſo verbindet man durch Drähte die Federn i, i reſpective mit den Polen der Kette, und die Federn h, k reſpective mit den Enden des Multiplicatordrahtes. Klar iſt, daß dann bei Drehung der Scheibe die Verbindung dieſer Drahtenden mit den Polen oder die Richtung des Stromes umgekehrt werden muß, ſo wie ein b, das unter n war, mit m in Berührung kommt, während zugleich ein a an n heranrückt. Es werden alſo bei jedem ganzen Umlauf der Scheibe 20 Umkehrungen des Stromes erfolgen, und da man die Scheibe ſchon mit der bloßen Kurbel ſehr bequem zwei und ſelbſt drei Mal in einer Secunde umdrehen kann, ſo wird man in derſelben Zeit 40 bis 60 Umkehrungen erhalten.

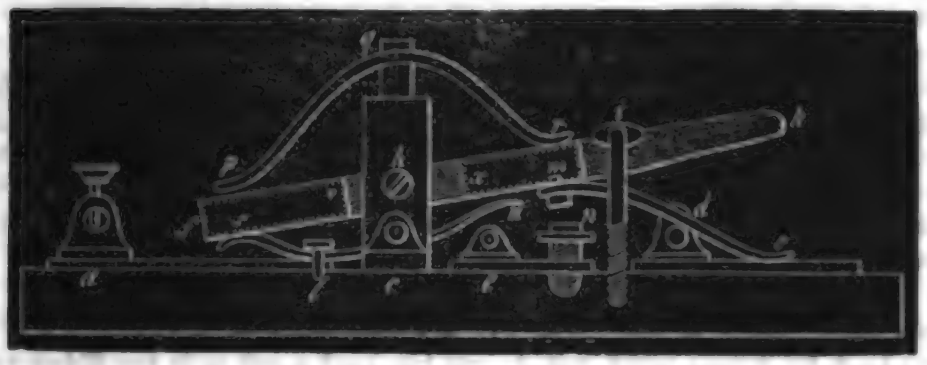
Während die Stäbchen m und n ganz auf Holz ruhen, iſt natürlich der Strom unterbrochen. Es hängt indeſſen von der Dicke der Stäbchen ab, wie lange die Unterbrechung dauern ſoll. Haben die Stäbchen genau die Dicke oder Breite der eingelaſſenen Kupferſtücke und deren Zwiſchenräume, ſo iſt die Unterbrechung nur momentan; ſind ſie ſchmäler, werden die Unterbrechungen größer. Es iſt daher gut, den Enden n, m der Stäbchen keinen quadratiſchen oder cylindriſchen Querſchnitt zu geben, ſondern die Form einer ſtumpfen Schneide, damit man durch bloßes Drehen der Stäbchen die Unterbrechungen nach Belieben verlängern oder verkürzen kann. Verſieht man beide Stäbchenpaare n m, n' m' mit ſolchen ſtumpfen Schneiden, dreht dieſe ſenkrecht gegen die Ebene der Scheibe, und ſtellt das eine Paar ſo, daß es Holz berührt, während das andere auf Metall ruht, ſo hat man zwei Reihen von Umkehrungen, die man erforderlichenfalls durch zwei Multiplicatoren, oder durch einen Multiplicator und eine Flüſſigkeit ſenden kann. — An

dem Inverſor, welchen Poggendorff hat anfertigen laſſen, hat die Scheibe drittehalb Zoll Durchmeſſer, und mit Hülfe eines Räderwerks will er 200 bis 300 Umkehrungen in einer Secunde bewerkſtelligen können.

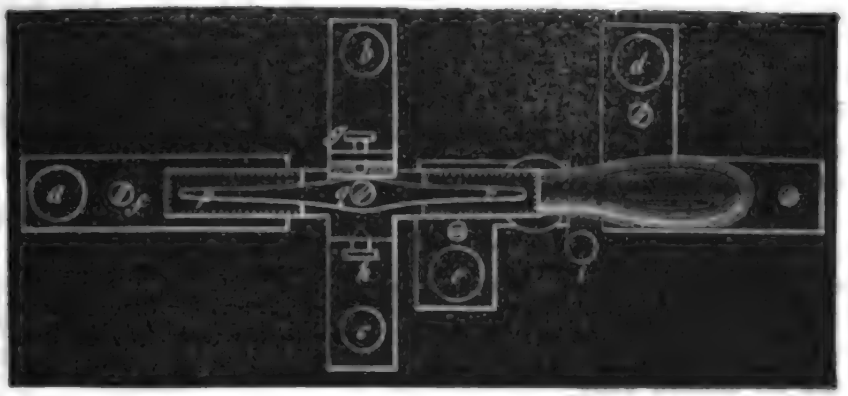
Zu phyſikaliſchen Zwecken, beſonders aber zur Anwendung in der elektromagnetiſchen Telegraphie hat E. Knorr in Kiew folgenden Taſtengyrotrop angegeben *).

Fig. I. ſtellt den Apparat von der Seite, Fig. II. von oben dar; a, b, c, d, e ſind meſſingene Ständer, in welche die Leitungsdrähte eingeſchraubt werden können; fk iſt eine Taſte von Holz, welche bei fv und xm Schuhe von Kupfer hat. Die Schrauben g und h (Fig. II.) bilden die Axen der Taſte fk; der Meſſingſtänder,

I.



II.



durch welchen die Schraube g geht, iſt ſtets mit b, dagegen der, durch welchen h geht, iſt ſtets mit c in leitender Verbindung; beide Ständer müſſen aber von einander iſolirt ſein, und ſind deshalb oben durch ein zwiſchengelegtes Stück Holz von einander getrennt. Der Schuh fv (Fig. I.) hat auf der hinteren Seite eine metalliſche Verlängerung bis zur Schraube g, ſo daß der Schuh fv durch die Schraube g ſtets mit b in leitender Verbindung iſt. Eben ſo iſt der Schuh xm durch die Gegendruckfeder mo und durch die rechtwinkelige Meſſingplatte, gegen die ſich die Feder mo bei o ſtützt, ſtets mit d in leitender Verbindung. Ferner

*) Pogg. Ann. Bd. XC. S. 177.

iſt die kupferne Feder s l u ſtets mit a und die kupferne Feder p q r ſtets mit c in leitender Verbindung. Die Schraube n dient zunächſt, um die Größe des Ausſchlags der Taſte zu reguliren; n iſt mit c in leitender Verbindung und wenn die Taſte niedergedrückt wird, ſo kann auch der kupferne Schuh x m durch n mit c in leitende Verbindung kommen; i iſt ein Wirbel mit Holzſchraube, deſſen Kopf parallel mit der Taſte ſteht; wird derſelbe um 90° gedreht, ſo wird die Taſte niedergedrückt und in dieſer neuen Lage erhalten. Die Taſte bewegt ſich übrigens ſo leicht, daß ein ſchwaches Anſchlagen mit einem Finger genügt, um ſie niederzudrücken. Ruht die Taſte in der Lage, wie ſie Fig. I. zeigt, ſo berührt die Feder s l u den Schuh f v bei s, ſie hat aber keine Verbindung mit x m; dagegen berührt die Feder p q r den Schuh x m bei r und hat keine Verbindung mit f v. Wird die Taſte niedergedrückt, ſo kommt s l u außer Verbindung mit f v, tritt aber in Verbindung mit x m; dagegen tritt p q r außer Verbindung mit x m und kommt in Verbindung mit f v. An den Federn und Schuhen ſind an den Stellen, wo ſie mit einander in Berührung kommen können, dünne Platinplättchen aufgelöthet. Setzen wir nun, daß z. B. ein einfaches galvaniſches Kupfer-Zink-Element dergeſtalt mit dem Apparate verbunden wird, daß vom Zink der kupferne Leitungsdraht nach c, vom Kupfer aber der Leitungsdraht nach a gehe, und es ſei in b eine Leitung angebracht, durch welche der Strom nach d zurückkehren kann. Iſt nun die Taſte in der Lage, wie ſie Figur I. zeigt, ſo iſt der Lauf folgender: vom Zink durch die Säure zum Kupfer, von dort nach a, von a durch l und s in den Schuh f v, von dort durch die Schraube g nach b, dann durch die Leitung zurück nach d, von hier durch o und m in den Schuh x m, aus dieſem bei r in die obere Feder und durch c zurück zum Zink. Wird dagegen die Taſte niedergedrückt, ſo geht der Strom von a durch l nach u, von dort durch x, m, o nach d, hierauf durch die Leitung nach b, dann durch die Schraube g in den Schuh f v, und von hier durch p nach q und c. In letzterer Lage der Taſte durchläuft alſo der Strom die Leitung zwiſchen b und d in entgegengeſetzter Richtung.

Als Anwendung des Apparates ſei nur kurz erwähnt: die Verbindung zweier unter ſich getrennter, jedoch geſchloſſener Ketten zu einer einzigen geſchloſſenen Kette; die Zerlegung einer telegraphiſchen Hauptlinie mit 2 Batterien in 2 getrennte kurze Zirkel, was ſich am einfachſten dadurch erreichen läßt, daß man die Hauptleitung durch a führt und die Endplatte der Station mit d verbindet; die Einſchaltung einer Verſtärkungsbatterie; das ſchnelle Oeffnen der einen und Schließen der anderen Kette.

Durch einfache Abänderungen wird der Apparat brauchbar zum gleichzeitigen Telegraphiren einer und derſelben Depeſche in zwei verſchiedenen von einander getrennt bleibenden Ketten durch Unterbrechung des Stromes.

Für beſtimmte Zwecke bedient man ſich beſonderer, an den Apparaten feſt angebrachter Vorrichtungen zum Umkehren des Stromes, die man wohl vorzugsweiſe **Commutatoren** nennt. Eine ſolche Vorrichtung findet ſich z. B. an dem elektromagnetiſchen Rotationsapparate, welcher in dem Artikel **Elektromagnetismus** Bd. II. S. 799 und 800 beſchrieben iſt.

Man wendet vorzugsweiſe, mit den dem jedesmaligen Zwecke entſprechenden Abänderungen, den zuerſt von **Jacobi** ausgeführten **Commutator** an, worüber der Artikel dieſes Namens (Bd. I. S. 981) zu vergleichen iſt.

Auf demſelben Princip beruhend erſcheint die von Felix de Fauconpret*) angegebene neue Form eines Commutators, indem derſelbe aus einem Rade von Glas beſteht, auf welchem drei gezahnte Ringe von Kupfer befeſtigt ſind. H. E.

Jod (Jodine). Chem. Zeichen: J; Aequivalent = 126. Das Jod, 1812 von dem Salpeterſieder Courtois entdeckt, ſcheint nach den in neueſter Zeit von einigen franzöſiſchen Chemikern ausgeführten Unterſuchungen, ein ſehr verbreiteter Körper zu ſein, der ſich jedoch überall nur in kleiner Menge vorfindet und nirgends im freien Zuſtande. Man hat es als Jodqueckſilber und Jodſilber in Mexiko, in ſehr geringer Menge in ſchleſiſchen Zinkerzen gefunden, ferner als Jodammonium in dem in der brennenden Kohlengrube zu Commentry ſublimirenden Salmiak, als Jodkalium oder Natrium im ſalpeterſauren Natron von Chili, im Steinſalz von Hall in Tyrol. In einer großen Menge von Salzſoolen, welche zur Kochſalzgewinnung benutzt werden (z. B. Halle, Schönebeck, Dürrenberg, Kösen, Artern, Salzungen ꝛc.), in dem Meerwaſſer, auch in dem der Oſtſee (in nur geringer Menge), in vielen Mineralwäſſern, ſelbſt in Brunnenwäſſern (München) hat man es an Natrium oder Magneſium gebunden nachgewieſen. Die Aſchen mehrerer Seegewächſe enthalten dieſe Verbindungen in größerer Menge, namentlich der Ulven- und Fucusarten, die Aſchen der Seetange und Algen; die Schalen der Seekrebſe, Seeigel und Seeſterne, die Meerſchwämme (Badeſchwamm, Pferdeſchwamm ꝛc.) ſind ebenfalls reich daran. Auch in dem Thrane von Gadus morrhua und anderer Gadusarten (Leberthran) und dem Oele aus der Leber von Raja elavata und Batis hat man Jod gefunden.

In ſeinen chemiſchen Eigenſchaften, die zuerſt von Davy**), vollſtändiger von Gay-Luſſac***) unterſucht wurden, ſtellt ſich das Jod neben Chlor und Brom. Es bildet, ſublimirt, kryſtalliniſche metallglänzende Schuppen von ſchwarzgrauer, dem Reißblei ähnlicher Farbe, welche ſehr weich und zerreiblich ſind; kryſtalliſirt aus der Luft dargebotenen Auflöſungen in Jodwaſſerſtoffſäure oder in Aether in Kryſtallen des rhombiſchen Syſtems, deren Grundform ein ſpitzes rhombiſches Oktaeder iſt. In ſehr dünnen Blättchen läßt es das Licht mit rother Farbe durch. Sein ſpecifiſches Gewicht iſt 4,897, es ſchmilzt bei 107° und erſtarrt beim Erkalten zu einer kryſtalliniſchen Maſſe. Bei 175° bis 180° C. ſiedet es und bildet einen Dampf, der bei auffallendem Lichte vollkommen ſchwarz, bei durchfallendem Lichte aber intenſiv violettblau erſcheint****), ein ſpec. Gew. von 8,701 beſitzt und ſich an kälteren Stellen in kryſtalliniſchen Schuppen verdichtet. Sein Geruch erinnert an Chlor, der Geſchmack iſt ſcharf und anhaltend; es färbt die Haut braun und zerſtört ſie, Pflanzenfarben zerſtört es nur ſchwach,

*) Ann. de Chim. et de Phys. Ser. III. T. XXXVI. p. 155; Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 390.

**) Gilb. Ann. Bd. XLVIII. S. 32; Bd. XLVIII. S. 19. Schweigg. Journ. Bd. XI. S. 68; Bd. XI. S. 234; Bd. XVI. S. 343. Ann. de Chim. T. XCVI. p. 289.

***) Ann. de Chim. T. LXXXVIII. p. 311, 319; T. XCI. p. 5. Gilb. Ann. Bd. XLVIII. S. 24 u. 372; Bd. XLIX. S. 1 u. 211. Schweigg. Journ. Bd. XIII. S. 384; Bd. XIV. S. 35.

****) Von der veilchenblauen Farbe der Dämpfe erhielt das Jod ſeinen Namen (ἰοειδής, veilchenfarben).

und giebt mit Stärkekleiſter eine ſchöne blaue Verbindung. Das Jod verdampft trocken nur wenig an der Luft, feucht dagegen viel leichter.

Das Jod löſt ſich nach Gay-Luſſac in dem 7000fachen ſeines Gewichts Waſſer, nach Jacquelain in 500 Th. Waſſer von 20°, mit bräunlichgelber Farbe; in ſalzhaltigem Waſſer, namentlich bei Gegenwart von Salmiak, ſalpeterſaurem Ammoniak und leicht löslichen Haloidſalzen löſt es ſich viel leichter; Jodwaſſerſtoffſäure, Alkohol, Aether und Terpentinöl löſen es mit intenſiv braunrother Farbe.

Man gewinnt das Jod aus der Aſche der Fucus- und Ulvenarten, insbeſondere von der Rhodomenia palmata. Dieſe werden mit heißem Waſſer ausgelaugt; die Auflöſung wird durch wiederholtes Abdampfen und Abkühlen von den darin enthaltenen kryſtalliſirbaren Salzen (Chlorkalium, Chlornatrium, kohlenſaurem und ſchwefelſaurem Natron ꝛc.) möglichſt befreit und die Mutterlauge, welche außer Jodnatrium, noch Schwefelnatrium, unterſchwefligſaures Natron und einen Theil der erſt genannten Salze enthält, auf Jod verarbeitet. Die Methoden der Darſtellung des Jods aus dieſen Mutterlaugen findet man in Gmelin, Handbuch der Chemie, Bd. I. S. 690 zuſammengeſtellt.

Die Verwandtſchaft des Jods zum Sauerſtoff iſt ſehr gering, ſo daß beide bei keiner Temperatur auf einander einwirken; unter gewiſſen Umſtänden vermag Jod jedoch den gebundenen Sauerſtoff aufzunehmen und es bildet ſich dann die Jodſäure, JO_5, aus deren Salzen die zweite bekannte Verbindung mit Sauerſtoff, die Ueberjodſäure, JO_7, dargeſtellt werden kann. — Man erhält Jodſäure, wenn man Jod mit möglichſt concentrirter Salpeterſäure erwärmt. Wenn alles Jod verſchwunden iſt, läßt man die Flüſſigkeit erkalten; der größte Theil der Säure ſetzt ſich dann in Kryſtallen ab. Trägt man Jod in ſiedende Kalilauge ein, ſo bildet ſich jodſaures Kali und Jodkalium, welches letztere beim Erkalten gelöſt bleibt, während ſich erſteres ausſcheidet. Wird das erhaltene jodſaure Kali in ſiedendem Waſſer gelöſt, mit Chlorbaryum verſetzt, ſo bildet ſich jodſaurer Baryt, aus welchem durch Zerſetzen mittelſt Schwefelſäure Jodſäure gewonnen werden kann.

Um die Säure in größerer Menge darzuſtellen, bedient man ſich am beſten des chlorſauren Kalis; man erwärmt gleiche Theile Jod und chlorſaures Kali mit 5 Theilen Waſſer, dem einige Tropfen Salpeterſäure zugeſetzt worden ſind; das Jod oxydirt ſich unter reichlicher Entwickelung von Chlorgas zu Jodſäure, die an Kali gebunden bleibt, und man erhält dieſe durch Behandlung des Salzes mit Chlorbaryum und Zerſetzung des Barytſalzes mittelſt Schwefelſäure. Die Jodſäure kryſtalliſirt in 6ſeitigen Tafeln; und die Kryſtalle enthalten 1 Aequiv. Waſſer, ($JO_5 + HO$). Beim Erhitzen verlieren dieſe anfangs etwas Waſſer, zerſetzen ſich aber bald (bei 200°) in reines Sauerſtoffgas und Joddampf. Die Säure iſt in Waſſer leicht löslich, weniger in Alkohol. Die jodſauren Salze, welche entſtehen, wenn man Jodſäure mit einer Salzbaſis vermiſcht oder die wäſſerige Säure mit Metallen zuſammenbringt, die ſich auf Koſten theils des Waſſers, theils der Säure oxydiren, oder wenn man jodſaure Alkalien mit leicht löslichen Metallſalzen vermiſcht, ſind kryſtalliniſch und meiſt ſchwer löslich in Waſſer. Einige verpuffen mit brennbaren Körpern beim Erhitzen, z. B. auf glühender Kohle, zum Theil auch beim Schlagen, doch viel ſchwächer als die chlorſauren und ſalpeterſauren Salze. Ihre wäſſerigen Löſungen zerſetzen ſich durch ſchweflige Säure in Jod

und Schwefelsäure, mit Schwefelwasserstoff in schwefelsaures Salz, Wasser und Schwefel; arsenige Säure und Zinnchlorür scheiden in der Wärme Jod daraus ab; Salzsäure zerlegt die Salze in Wasser, Chlormetall, dreifach Chlorjod und freies Chlor. In der Wärme verlieren die Alkalisalze (beim Abschluß der Luft) allen Sauerstoff und hinterlassen Jodmetall; die Salze der alkalischen Erden dagegen verlieren einen Theil Jod und Sauerstoff und hinterlassen basisch überjodsaures Salz. — Die Ueberjodsäure JO_7 erhält man aus überjodsaurem Natron, indem man dieses in Salpetersäure löst, die Lösung mit salpetersaurem Silberoxyd vermischt und das gefällte, durch Auflösen in siedender Salpetersäure umkrystallisirte Silbersalz mit Wasser behandelt; das überjodsaure Silberoxyd giebt dabei die Hälfte der Säure an Wasser ab, aus dem man sie durch Verdunsten in Krystallen erhält. Das überjodsaure Natron entsteht beim Einleiten von Chlorgas in eine siedende Auflösung von jodsaurem Kali, die man mit kohlensaurem Natron versetzt hat; beim Erkalten scheidet sich das überjodsaure Natron in seidenglänzenden Büscheln ab. Die Ueberjodsäure bildet farblose, an der Luft zerfließliche Krystalle, welche schiefe rhombische Säulen zu sein scheinen, bei 130° C. ohne Zersetzung schmelzen, stärker erhitzt ihr Wasser abgeben und dann sich in Sauerstoffgas und Jodsäure zersetzen; diese letztere zerfällt weiter in Sauerstoff und Jod. Sie löst sich leicht in Wasser, schwieriger in Weingeist und Aether, und bildet mit Basen einfach und halb-saure Salze, die in Wasser meist schwer löslich sind. — Andere Sauerstoffverbindungen des Jods sind die von Millon entdeckte Unterjodsäure JO_4 und die noch zweifelhafte jodige Säure JO_2.

Das Jod verbindet sich mit Wasserstoff zu Jodwasserstoffsäure, Hydrojod, Hydrojodsäure = HJ, eine bei gewöhnlicher Temperatur gasförmige Verbindung. Man bereitet sie, indem man 9 Th. Jod (= 3 Aequiv.) und 1 Th. Phosphor (= 1 Aequiv.), abwechselnd mit grob zerstoßenem mit etwas Wasser angefeuchtetem Glas geschichtet, in einer unten zugeschmolzenen Glasröhre langsam erwärmt und das sich entwickelnde Gas in kleinen trockenen Flaschen auffängt; man erhält die Säure auch durch gelindes Erwärmen von 4 Th. krystallisirtem unterphosphorigsaurem Kalk und 1 Th. Wasser mit 4 Th. Jod oder besser von 6 Th. krystallisirtem schwefligsaurem Natron und 1 Th. Wasser mit 3 Th. Jod ($NaO, SO_2 + HO + J = NaO, SO_3 + HJ$). Das Gas ist farblos, riecht stechend, schmeckt stark sauer, zersetzt sich durch Einwirkung von Luft und Licht bei Anwendung von Wärme, raucht an der Luft und ist in Wasser sehr löslich; es besitzt 4,443 specif. Gewicht, und gefriert bei — 51° C. zu einer eisähnlichen Masse; bei 0° übt die flüssige Säure einen Druck aus von 3,97 Atmosphären. Durch Brom und Chlor wird sie zersetzt; Salpetersäure, Schwefelsäure, Chlorsäure und Eisenoxydsalze oxydiren den Wasserstoff; die meisten Metalle verbinden sich unter Entbindung des Wasserstoffs mit dem Jod und die Metalloxyde verwandeln sich damit unter Wasserbildung in Jodmetalle. — Der Jodstickstoff ist wie der Chlorstickstoff eine Verbindung, die äußerst leicht mit größter Heftigkeit explodirt. Sie bildet sich beim Uebergießen feinzertheilten Jods mit Ammoniak in kurzer Zeit, oder wenn man Jod in Königswasser gelöst, wobei 3fach Chlorjod gebildet wird, mit überschüssigem Ammoniak fällt (Mitscherlich). Der Jodstickstoff bildet ein zartes braunschwarzes Pulver, explodirt selbst im feuchten Zustande leicht durch Reiben, trocken aber bei der geringsten Veranlassung, oft von selbst; beim Ver-

puffen entwickelt ſich Stickgas, Joddampf und im Dunkeln ſieht man ein violettes Licht. Die Zuſammenſetzung der Verbindung, welche man gewöhnlich J_3N oder auch JNH_2 annahm, iſt nach Bunſen *) je nach der Darſtellung verſchieden. Beim Vermiſchen einer kalt geſättigten Löſung von Jod und Ammoniak bildet ſich die Verbindung $NJ_3 + NH_3$. Nach der Mitſcherlich'ſchen Methode dargeſtellt erhält man den Jodſtickſtoff $4\,NJ_3 + NH_3$ **).

Mit Chlor verbindet ſich das Jod zu Jodchlorid JCl_3 und Jodchlorür JCl. Erſtere Verbindung bildet ſich, wenn man 5 bis 6 Stunden lang Chlor über von Zeit zu Zeit erhitztes Jod leitet, als gelbe Flüſſigkeit, welche beim Abkühlen in langen Nadeln kryſtalliſirt. Jodchlorür entſteht, wenn überſchüſſiges Jod mit Chlor behandelt wird, oder wenn man 4 Th. chlorſaures Kali mit 1 Th. Jod deſtillirt, wobei es als gelbe oder röthliche, ölige Flüſſigkeit übergeht. Durch Einleiten von Chlor in heißen Joddampf erhält man nach Trapp ein Jodchlorür von derſelben Zuſammenſetzung, alſo JCl, in zolllangen Prismen und Tafeln, die ſehr glänzend und durchſichtig ſind und einen höchſt unangenehmen, reizenden Geruch beſitzen. Schwefel giebt mit Jod mehrere, nach ihrer Zuſammenſetzung nicht bekannte Verbindungen; beide Körper vereinigen ſich unter Erwärmung; bei weiterem Erhitzen jedoch zerſetzt ſich die Verbindung wieder. — Phosphor und Jod verbinden ſich zu Jodphosphor, zweifach Jodphosphor PJ_2 und dreifach Jodphosphor PJ_3; letztere Verbindungen entſtehen, wenn die ihnen entſprechenden Aequivalente Jod und Phosphor in Schwefelkohlenſtoff gelöſt und die Löſung bei Luftabſchluß und unter Erkältung verdunſtet wird.

PJ_2 bildet lange biegſame abgeplattete Säulen von hell pomeranzenrother Farbe, bei 110 ſchmelzend; J_3P kryſtalliſirt in großen ſäulenförmigen Kryſtallen von rother Farbe, bei 55° ſchmelzend. — Das Jod verbindet ſich mit faſt allen Metallen, welche ihrer Zuſammenſetzung nach meiſt den Oxydationsſtufen und faſt immer den Chlorſtufen entſprechen. Die dem Oxydul oder Chlorür entſprechenden Jodmetalle werden Jodüre, die den Oxyden oder Chloriden entſprechenden Jodide genannt. Die Vereinigung mit den Metallen erfolgt auf mannichfaltige Weiſe; durch directes Zuſammenbringen oft ſchon bei gewöhnlicher Temperatur (z. B. Queckſilber) und unter mit Feuererſcheinung begleiteter Wärmeentwickelung (Kalium); durch Jodwaſſerſtoffſäure und Metalle oder Metalloxyde; durch Glühen von jodſauren und überjodſauren Metalloxyden ꝛc. Die unlöslichen Jodmetalle ſtellt man meiſtens dar durch Fällung löslicher Metallſalze mit Jodkaliumlöſung. Die Jodmetalle ſind ſämmtlich von nicht metalliſchem Anſehen, zum Theil ſehr ſchön gefärbt, in Waſſer meiſt löslich, einige werden durch Waſſer zerſetzt (Wismuth, Kupfer ꝛc.). Die meiſten bleiben beim Erhitzen unter Luftabſchluß unverändert (außer Gold, Platin und Palladium); bei Luftzutritt indeß verlieren viele ihr Jod und verwandeln ſich in Oxyde. — Mit organiſchen Radikalen geht das Jod beſtimmte Verbindungen ein, ſo mit Methyl, Aethyl, Amyl ꝛc.; desgleichen mit einer großen Zahl anderer organiſcher Körper. Im freien Zuſtande

*) Ann. der Chem. und Pharm. Bd. LXXXIV. S. 1. Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVIII. S. 248.

**) Gladſtone (Pharmac. Centralbl. 1854, Nr. 36), welcher die Angaben Bunſen's prüfte, konnte die Körper von dieſer Zuſammenſetzung nicht erhalten; er fand die Formel NHJ_2.

iſt das Jod an ſeinen Eigenſchaften leicht zu erkennen. Als empfindlichſtes Reagens auf Jod gilt unſtreitig Stärkekleiſter, welcher von freiem Jod, wie ſchon früher erwähnt wurde, blau gefärbt wird; außerordentlich geringe Mengen färben die Stärke violett oder auch nur roſenroth; enthält eine Auflöſung $^1/_{100000}$ Jod, ſo iſt es auf dieſe Weiſe noch deutlich nachzuweiſen. Die Färbung verſchwindet durch Erhitzen bis nahe zum Kochen und durch Alkalien, beim Erkalten und durch Zuſatz von Säure wird ſie wieder hergeſtellt. Iſt das Jod an Baſen gebunden in einer Flüſſigkeit enthalten, ſo hat man es durch Salpeterſäure oder verdünntes Chlorwaſſer (welches letztere wegen Bildung von Chlorjod, das die Stärke nicht färbt, nicht im Ueberſchuß vorhanden ſein darf) in freien Zuſtand zu verſetzen. Salpeterſaures Palladiumoxydul iſt ein ſehr empfindliches Reagens auf Jod, es bildet ſich unlösliches ſchwarzes Palladiumjodür, das nur in viel überſchüſſigem Jodmetall auflöslich iſt; bei ſehr geringen Mengen Jod färbt ſich die Flüſſigkeit durch Palladium bräunlich. — Die Säure in jodſauren Salzen reducirt man durch Schwefelwaſſerſtoff und weiſt das Jod dann durch Stärkemehl nach. In einem Gemenge dieſer Salze mit Jodmetallen wird durch Zuſatz von chlorfreier Salzſäure hinzugefügte Stärkelöſung gebläut, indem die Jodſäure die gebildete Jodwaſſerſtoffſäure reducirt. — In Verbindungen, welche kein Chlor und Brom enthalten, kann man das Jod quantitativ als Jodſilber beſtimmen. Bei Gegenwart dieſer Elemente aber wendet man am beſten Palladiumoxydulſalz an, und beſtimmt das Jod als Palladiumjodür.

Die Anwendung des Jods in der Photographie iſt bekannt. Als Heilmittel, entweder frei oder als Jodkalium, iſt es ſehr geſchätzt gegen alle Drüſenanſchwellungen, auch gegen Geſchwülſte und es iſt das einzige Heilmittel gegen den Kropf, wogegen Coindet in Genf es zuerſt anwandte. Im feſten Zuſtande verſchluckt erzeugt es Geſchwüre im Magen und wirkt tödtlich. — Chatin, Marchand (Apotheker in Fécamp), Niepce, Meyrac haben es durch zahlreiche Unterſuchung von Wäſſern, Pflanzen, Nahrungsmitteln aller Art, Thieren ꝛc. wahrſcheinlich zu machen geſucht, daß die Anweſenheit des Kropfes und Cretinismus in gewiſſen Gegenden in engſter Beziehung ſtehe zu einem Mangel an Jod in den Nahrungsmitteln ꝛc. dieſer Regionen und im Gegentheil die Abweſenheit dieſer Uebel von dem Vorhandenſein des Jods. Wir verweiſen jedoch hinſichtlich der einzelnen Reſultate auf die betreffenden Abhandlungen dieſer Chemiker Compt. rend. T. XXXV. p. 505; Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVII. S. 460; Bd. LXI. S. 361; Bd. LV. S. 463. H. Rt.

Iridium. — Chem. Zeichen = Ir. Aequivalent = 98, 56. Dieſer, zu den Metallen gezählte Körper, wurde 1804 von Tennant *) in dem in Königswaſſer unlöslichen Rückſtande der Platinerze entdeckt und von Berzelius **) genauer unterſucht. — Das Iridium findet ſich in geringer Menge im Platinerz mit Platin und anderen Metallen legirt, als Osmiumiridium in einzelnen Körnern dem Erze beigemengt, als ſogenanntes gediegen Iridium (Platiniridium) endlich im oxydirten Zuſtande mit den Oxyden von Osmium, Eiſen und Chrom, im Irit. Am reichſten an Iridium iſt das Platinerz von Niſchne-Tagilsk am Ural, welches

*) Phil. Transact. 1804. p. 411.
**) Pogg. Ann. Bd. XIII. S. 463; Bd. XV. S. 208 u. 327.

nach Berzelius 3 bis 5 Proc. seines Gewichts enthält. — Die Methoden der Darstellung des Metalls sind verschieden, je nach dem Material, das dazu verwendet wird. Nach Wöhler wird der schwarze in Königswasser unlösliche Rückstand der Platinerze mit getrocknetem Kochsalz gemengt in einer weiten Glasröhre bis zum schwachen Glühen erhitzt, während man Chlorgas hindurchleitet. Das Iridium verwandelt sich hierbei in Iridiumchloridnatrium, welches als nicht flüchtig mit den anderen nicht flüchtigen Körpern und etwas Osmiumchloridnatrium gemengt in der Röhre nach Beendigung der Operation zurückbleibt; man behandelt den Rückstand mit Wasser, wodurch Iridiumchloridnatrium vollständig gelöst wird, nebst einem Theil der letzteren Verbindung, und dampft die Lösung unter Zusatz von kohlensaurem Natron ein. Der hierbei sich abscheidende schwarzbraune Niederschlag ist Iridiumsesquioxyd. Zuletzt fügt man kohlensaures Natron im Ueberschuß zu, dampft vollständig zur Trockne, glüht den Rückstand im hessischen Tiegel und behandelt ihn zur Befreiung von Chlornatrium, kohlensaurem und chromsaurem Natron mit Wasser, reducirt das ungelöste, mit chemisch gebundenem Natron, etwas Eisen, Platin und Osmium verunreinigte Iridiumsesquioxyd, im Wasserstoffstrome, und behandelt das Metall schließlich zur Befreiung von den beigemengten Metallen nach einander mit Wasser, Salzsäure und Königswasser. — Dasselbe Verfahren kann man auch bei fast reinem Osmium-Iridium benutzen. — Das dargestellte Metall enthält meist noch kleine Antheile von Osmium, von denen es durch Glühen und Chlorströme vollständig getrennt werden kann; Osmium verflüchtigt sich als Chlorür, während Iridiumchlorür zurückbleibt, das durch Wasserstoff reducirt wird.

Das Iridium bildet ein dem Platin, das man nach dem Glühen des Platinsalmiaks erhält, ähnliches graues Pulver; es ist außerordentlich schwer schmelzbar und sintert in der Hitze, bei welcher Platin flüssig wird, nur zusammen, indem es silberweiß und glänzend wird; nur vor dem Knallgasgebläse kann man es zu kleinen Kugeln schmelzen, oder nach Children durch den Funken einer starken elektrischen Batterie. Es ist nicht dehnbar, zerspringt leicht unter dem Hammer und zeigt auf der Bruchfläche ein krystallisches Gefüge. Im Schmelzen absorbirt es gleich dem Silber Gasarten, die es beim Erkalten wieder abgiebt, so daß die Kugel porös erscheint. Das specif. Gew. des zusammengepreßten Iridiums ist 15,7. — Das Iridium krystallisirt nach G. Rose's Ableitungen aus der Form seiner Verbindungen tesseral (hexaëdrisch); ist wahrscheinlich dimorph (Osmium-Iridium krystallisirt rhomboëdrisch) und isomorph mit Platin und Osmium in deren Chlorverbindungen. — Es wird von keiner Säure angegriffen, und kann nur mit Chlor oder Sauerstoff wieder verbunden werden, entweder wenn über ein erhitztes Gemenge von Iridium und Kochsalz Chlor geleitet, oder Iridium mit Salpeter geschmolzen wird. Durch Wasserstoff bei gelinder Hitze reducirtes Metall oxydirt sich in kleiner Menge zu Sesquioxydul, mit Platin legirt löst es sich in Königswasser. — Iridiummohr, Iridium in höchst fein zertheiltem Zustande, ein schwarzes, dem Lampenruß ähnliches Pulver, entsteht, wenn man Iridiumsesquioxydul mit Ameisensäure digerirt, so lange sich Kohlensäure entwickelt.

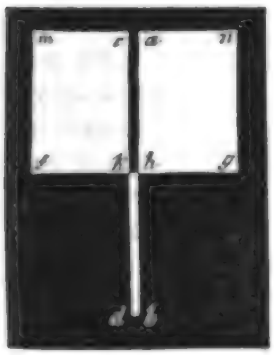
Iridium verbindet sich mit Chlor und Sauerstoff in 3 Verhältnissen; bei derselben Menge Metall verhalten sich diese Substanzen in den verschiedenen Verbindungsstufen wie $1^1/_2 : 2 : 3$. Die Verbindungen nach dem Verhältniß $1^1/_2$ und 3 nennt man Sesquioxydul und Sesquioxyd, Sesquichlorür und Sesqui-

chlorid. — Das Iridiumſesquioxydul $Jr_2 O_3$ bildet ein zartes, blauſchwarzes Pulver, das ſich beim Schmelzpunkte des Silbers in Metall und Sauerſtoff zerſetzt, und durch Waſſerſtoff ſchon in der Kälte unter Wärmeentwickelung (ſogar unter Erglühen) reducirt wird. In Säuren iſt es unlöslich. — Iridiumoxyd, $Jr O_2 + 2 HO$, wird nach Claus immer als indigblauer Niederſchlag erhalten, wenn eine Chlorverbindung des Iridiums mit einem Alkali gekocht wird. Daſſelbe löſt ſich unter langſamer Umwandlung in Zweifach-Chloriridium. Iridiumſesquioxyd, $Jr O_3$, oder Iridiumſäure iſt nur in Verbindung mit Salzſäure oder mit Kali bekannt. — Iridiumſesquichlorür bildet mit Chlorkalium eine Doppelſalzverbindung in olivengrünen glänzenden Kryſtallen von der Formel $3 K Cl + Jr_2 Cl_3 + 6 HO$; das Kaliumiridiumchlorid $K Cl + Jr Cl_2$ kryſtalliſirt in Octaedern; eine Verbindung von ähnlicher Zuſammenſetzung bildet Iridiumchlorid mit Salmiak. — Verbindungen des Iridiums mit anderen Elementen ſind wenig bekannt. Mit Schwefel verbindet es ſich in eben den Verhältniſſen, wie Chlor und Sauerſtoff.

Das Iridium wendet man in der Porzellanmalerei an; es giebt die ſchönſte ſchwarze Farbe und läßt ſich leicht mit anderen Farben mengen. H. Rt.

Irradiation (lat. irradiatio; franz. irradiation; engl. irradiation) iſt ein optiſches Phänomen, welches darin beſteht, daß ein leuchtender Gegenſtand, welcher von einem dunklen Raume umgeben iſt, mehr oder weniger vergrößert erſcheint.

Es läßt ſich dies Phänomen ſehr leicht zur Darſtellung bringen. Auf einem rechteckigen Stücke weißer Pappe von 8 bis 9 Zoll Höhe und etwa 6 Zoll Breite (ſ. beiſtehende Figur) ziehe man zwei Parallellinien a b, c d etwa 2 bis 3 Linien aus einander und ſchneide ſie in der Mitte ihrer Länge unter rechtem Winkel durch eine dritte Gerade f g, laſſe dann den Streifen k h b d, ſo wie die beiden großen Rechtecke m e k f und a n g h weiß, während man den Streifen a h k c und das Uebrige der Pappe recht dunkel ſchwarz anſtreicht. Man hat ſomit zwei Streifen von gleicher Breite, den einen weiß auf ſchwarzem Grunde, und den anderen ſchwarz auf weißem Grunde. Stellt man nun dieſen Apparat neben einem Fenſter ſenkrecht auf, ſo daß er wohlbeleuchtet iſt, und entfernt ſich 12 bis 15 Fuß weit; ſo wird der weiße Streifen beträchtlich breiter erſcheinen, als der ſchwarze Streifen darüber. — Das Phänomen wird noch auffälliger, wenn man die in dem eben beſchriebenen Apparate weiß gelaſſenen Felder, alſo k h b d, m e k f und a n g h, ausſchneidet, darauf den Apparat an einer der oberen Scheiben eines Fenſters befeſtigt, und nun durch ihn nach dem Himmel ſieht. Hierdurch erhalten die hellen Töne weit mehr Glanz und die dunklen eine weit größere Schwärze, was dann die Intenſität des Phänomens erhöht. Wir bemerken nur noch, daß die Pappe recht dünn und die ſchwarze Farbe möglichſt undurchſichtig ſein muß.



Stellt man den eben angegebenen Verſuch an, ſo gewinnt man zugleich den Thatbeſtand für die entgegengeſetzte Täuſchung, nämlich daß, wie ſich ſchon von ſelbſt verſteht, ein dunkler Gegenſtand auf hellem Grunde eine Verkleinerung ſeiner Dimenſionen erleidet. Es zeigt ſich dies an dem dunklen Streifen a h k c auf dem

weißen Grunde kann. Da der weiße und ſchwarze Streifen in derſelben Richtung liegen, ſo wird durch den angegebenen Apparat das Phänomen wegen des eben erwähnten Gegenſatzes auffälliger, und deshalb haben wir gerade zur Feſtſtellung der Thatſache dieſen Verſuch gewählt. — Uebrigens braucht man, wenn man ſich von der Thatſache überzeugen will, nur ein Schachbret aus verſchiedenen Entfernungen zu betrachten.

Es leuchtet ein, daß die Irradiation für die Aſtronomie beſonders von der größten Wichtigkeit iſt. Es ſcheint wenigſtens zunächſt ſo, als ob durch dieſelbe auf alle Beobachtungen, welche die Meſſung der ſcheinbaren Durchmeſſer von Himmelskörpern, der Finſterniſſe, der Vorübergänge der Planeten vor der Sonne ꝛc. zum Zweck haben, ein mehr oder minder großer Einfluß ausgeübt werden müſſe. Ohne uns an dieſer Stelle hierauf weiter einlaſſen zu können, genüge die Bemerkung, daß die Aſtronomen verſchiedener Meinung ſind, indem die einen das Daſein der Irradiation läugnen, die anderen zugeben. Wir werden im Verlaufe dieſes Artikels wieder hierauf zurückkommen.

Um eine Thatſache anzuführen, die allgemein bekannt iſt, erwähnen wir das Anſehen des Mondes, wenn er ſichelförmig erſcheint und zugleich der Reſt ſeiner Scheibe durch ſchwache Beleuchtung von aſchfarbigem Lichte wahrzunehmen iſt. Der äußere Umriß des leuchtenden Theiles ſcheint dann gegen den dunklen Theil einen Vorſprung zu machen, oder — mit anderen Worten — die Sichel ſcheint einer ſehr merkbar größeren Scheibe anzugehören, als der Reſt des Mondes.

Das Phänomen der Irradiation iſt ein längſt bekanntes. Plateau *) hat das Geſchichtliche ſehr vollſtändig zuſammengeſtellt von Epicur und Perſius bis auf ſeine Zeit.

Die erſte vernünftige Erklärung gab im Jahre 1604 Kepler **), indem er die Urſache der Erſcheinung in das Auge des Beobachters ſelbſt verſetzte. Nach ihm vereinigen ſich, wenn ein leuchtender Punkt jenſeits einer gewiſſen, für jedes Individuum beſtimmten Entfernung gebracht wird, die vom Auge aufgenommenen Strahlen, ehe ſie die Netzhaut erreicht haben, gehen dann wieder aus einander und malen auf dieſe Haut nicht einen Punkt, ſondern eine kleine Scheibe. Dieſe Ausbreitung der Lichtpinſel müſſe offenbar die Grenzen der Bilder auf der Netzhaut erweitern. Nebenbei nimmt er jedoch noch an, daß die Erzeugung dieſer Täuſchung eine gewiſſe Erregbarkeit erfordere, welche die Netzhaut nicht blos in dem Punkte, der dem deutlichen Sehen entſpricht, ſondern auch rings um dieſen Punkt für eine Einwirkung ſämmtlicher den ausgebreiteten Lichtpinſel bildender Strahlen empfänglich mache. Nach Kepler's Meinung erzeugt ſich alſo das Phänomen nicht bei allen Individuen.

Galilei, der die Geſetze der Irradiation ſorgfältig ſtudirt hatte, war der Anſicht, daß dieſelbe ſowohl aus einer Brechung in der Feuchtigkeit, welche die Augenlieder auf dem Vordertheile des Auges zurückhalten, entſpringe ***), als

*) Mém. de l'acad. de Bruxelles Tom. XI. Pogg. Ann. Ergänzungsband I. (LI. b.) S. 79 — 128, 193 — 231 und 405 — 443.

**) Ad Vitellionem paralipomena, quibus astronomiae pars optica traditur. Frankfurt 1604. p. 217; vergl. auch p. 199, prop. XXVI. u. p. 200, prop. XXVII.

***) Discorso delle comete di Mario Guiducci (1619) in Opere di Galileo Galilei Florenz 1718. T. II. p. 257.

auch von einer Reflexion an den feuchten Rändern der Augenlider *), ſo daß das Phänomen nach der Anſicht mancher Naturforſcher von gleicher Natur ſein würde mit jenen langen Lichtſtreifen, welche man von den oberen und unteren Theilen eines hellen Gegenſtandes ausgehen ſieht, wenn man die Augen theilweiſe ſchließt **). Galilei ſcheint indeſſen zuletzt ſelbſt an ſeiner eigenen Theorie Zweifel gehegt zu haben ***). Die Geſetze, welche er fand, waren: 1) Die Irradiation iſt deſto größer, je heller der Gegenſtand iſt. 2) Die Irradiation iſt um ſo größer, als der Grund, auf welchem der Gegenſtand erſcheint, dunkler iſt. 3) Die Irradiation, die einen hellen Gegenſtand auf dunklem Grunde vergrößert, verringert im Gegentheil die ſcheinbaren Dimenſionen eines auf hellem Felde befindlichen dunklen Gegenſtandes. 4) Die Irradiation iſt deſto größer in Bezug auf den Gegenſtand, und hat deſto mehr Einfluß, die wirkliche Geſtalt deſſelben zu verſtecken, als dieſer Gegenſtand kleiner iſt.

Gaſſendi ſchreibt das Phänomen der Erweiterung der Pupille im Dunklen zu ****).

Descartes ſcheint der Erſte geweſen zu ſein, welcher die Irradiation durch eine Ausbreitung des Eindrucks auf die Netzhaut erklärt hat *****), und dieſer Anſicht iſt man im Weſentlichen treu geblieben, bis in der neueſten Zeit ſich auch ihre Unſtatthaftigkeit herausſtellte.

Durch die Erfindung der Fernröhre und durch Newton's Entdeckung der chromatiſchen Aberration kam in die Unterſuchung des Irradiations-Phänomens eine gewiſſe Unklarheit. De l'Isle †) hatte 1718 beobachtet, daß der Durchmeſſer der Sonne deſto kleiner gefunden werde, mit je längeren Fernröhren man ihn meſſe, und hatte keinen Anſtand genommen, dieſe Unterſchiede von der Brechbarkeits-Aberration herzuleiten. So war eine den Fernröhren inwohnende Urſache entdeckt, durch welche ebenfalls die hellen Gegenſtände auf dunklem Grunde vergrößert und die dunklen auf hellem Grunde verkleinert werden mußten. Im Gegenſatze zu dieſem neuen Phänomen nennt man nun das mit unbewaffnetem Auge wahrgenommene Ocular-Irradiation. Da die letztere aber offenbar bei den mit Fernröhren angeſtellten Beobachtungen auch eine Rolle ſpielen muß, darüber jedoch die Aſtronomen nicht zu rechter Klarheit kamen; ſo entſtanden überhaupt Zweifel über das Daſein der Irradiation, wie die Schriften der Aſtronomen und Phyſiker mehrfach bekunden ††), während allerdings auch von manchen Seiten die Ocular-Irradiation poſitiv angenommen wurde †††). Selbſt an den

*) Il Saggiatore in Opere di Gal. Galilei cit. T. II. p. 395.

**) Vergl. Trouessart in Compt. rend. T. XXXVI. (1853) p. 144; dagegen H. Meyer in Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 429.

***) Galilaei, Systema cosmicum, Lyon 1641. Dial. III. p. 248.

****) Gassendi, Opera. T. III. p. 385 ff. p. 567; T. I. p. 499—508.

*****) La dioptrique, Leyde 1637, discours sixième p. 67 u. 68.

†) Mém. de l'acad. des Sc. de Paris. 1755. p. 145 u. 1743. p. 419.

††) Biot, Traité élément. d'astron. phys., edit. 2me. T. I. p. 534. Delambre, Astronomie théorique et pratique. 1814. T. II., chap. 26. §. 197 und T. III., chap. 29. §. 12. de Zach, Correspondance astronomique. 1820. Vol. IV. p. 171.

†††) Hassenfratz, Cours de physique céleste. 1810. §. 33. p. 23; J. Herschel, Traité de la lumière, trad. par Verhulst et Quetelet. T. I. §. 697, p. 451, 452; Quetelet, Positions de physique. 1re. Edit. 1829. T. III. p. 81; Brandes, Gehler's phyſ. Wörterb. N. B. Bd. V. S. 796.

achromatiſchen Fernröhren hat man noch Irradiationserſcheinungen wahrgenommen *).

In Betreff der Ocular-Irradiation führt Plateau **) noch eine Erklärung an von Joslin, Profeſſor zu New-York. Nach dieſem wird die Irradiation unmittelbar und hauptſächlich von der Kryſtalllinſe erzeugt, aber von der Iris abgeändert. Die Theile in der Mitte und an den Seiten der Kryſtalllinſe tragen in verſchiedenem Grade zur Hervorbringung der Irradiation bei, da der Effect wächſt mit der abſoluten Entfernung des einfallenden Strahles von der Axe der Kryſtalllinſe und folglich mit der Größe der Pupille ꝛc. Plateau hat Joslin's Verſuche wiederholt, will ſie aber nicht beſtätigt gefunden haben; gleichwohl dürfen wir dieſe Anſicht nicht ohne Weiteres verwerfen, wie wir im Verlaufe dieſes Artikels ſehen werden, da Plateau ſelbſt bei ſeinen Unterſuchungen nicht frei von Irrthümern geblieben iſt.

Plateau (a. a. O.) gab durch ſeine große Arbeit über die Irradiation dem Gegenſtande ein beſonderes Intereſſe, und da er bei den Linſen auf Widerſprüche ſtieß gegen ſeine Theorie der Ocular-Irradiation, ſo regte er zu neuen Forſchungen an. Es laſſen ſich ſeine vielfachen Experimente nicht gut im Auszuge mittheilen, wir müſſen uns daher — auf die Arbeit ſelbſt deshalb verweiſend — auf die Mittheilung der von ihm gewonnenen Reſultate beſchränken.

Er fand Folgendes:

A. Ocular-Irradiation.

1) Die Irradiation iſt eine wohl feſtgeſtellte, leicht zu erweiſende, ſehr veränderliche, aber unter allen Umſtänden genau meßbare Thatſache.

2) Sie zeigt ſich bei jeder Entfernung des ſie erzeugenden Gegenſtandes, von der kürzeſten des deutlichen Sehens bis zu jeder beliebigen.

3) Der Geſichtswinkel, den ſie umſpannt und der ſie mißt, iſt unabhängig von der Entfernung des Gegenſtandes.

4) Daraus folgt, daß die abſolute Breite, welche wir ihr beilegen, bei Gleichheit aller übrigen Umſtände, proportional iſt der Entfernung, die zwiſchen dem Gegenſtande und unſerem Auge vorhanden iſt, oder uns ſcheint vorhanden zu ſein.

5) Die Irradiation wächſt mit der Helligkeit des Gegenſtandes, aber weit weniger raſch als dieſe. Verzeichnet man das Geſetz durch eine Curve, welche die ſucceſſiven Werthe der Helligkeit von Null ab zu Abſciſſen und die entſprechenden Werthe der Irradiation zu Ordinaten hat, ſo geht dieſe Curve durch den Anfang der Coordinaten, kehrt ihre Concavität gegen die Abſciſſenaxe und beſitzt eine dieſer Axe parallele Aſymptote. Für die Helligkeit wie die des Himmels gegen Norden iſt die Curve ſchon ſehr ihrer Aſymptote nahe.

6) Wenn das den Gegenſtand umgebende Feld nicht völlig lichtlos iſt, ſo wird die Irradiation geſchwächt, deſto mehr als die Helligkeit des Feldes ſich der

*) Robinson, Mem. of the Astron. Soc. of London. Vol. IV. Pt. II. p. 293 (1831) und Vol. V. p. 1. Beſſel, Aſtron. Nachrichten. Nr. 228. S. 187.

**) Pogg. Ann. a. a. O. S. 107.

Gleichheit mit der des Gegenſtandes nähert. Tritt dieſe Gleichheit ein, ſo verſchwindet die Irradiation.

7) Daraus folgt, daß wenn zwei gleich helle Gegenſtände einander berühren, die Irradiation für jeden von ihnen in dem Punkte oder der Linie der Berührung Null iſt.

8) Zwei benachbarte und hinreichend nahe Irradiationen erleiden beide eine Schwächung. Dieſe Schwächung iſt deſto beträchtlicher, als die Ränder der leuchtenden Räume, von denen die beiden Irradiationen ausgehen, einander näher ſind.

9) Die Irradiation nimmt zu mit der Dauer der Anſchauung des Gegenſtandes.

10) Bei demſelben Individuum und bei einem Gegenſtande von gleicher Helligkeit ſchwankt die Irradiation von einem Tage zum andern.

11) Die von einer und derſelben Helligkeit erregte mittlere Irradiation iſt ſehr verſchieden von einem Individuum zum anderen.

12) Die Irradiation wird abgeändert, wenn man eine Linſe vor das Auge bringt. Sie wird verringert durch convergirende Linſen, und erhöht durch divergirende.

13) Dieſe Wirkung der Linſen ſcheint nur von deren Brennweite abzuhängen, und nicht von den abſoluten Krümmungen ihrer Oberflächen. Sie ſcheint deſto ſtärker zu ſein, je kürzer die Brennweite iſt.

14) Die wahrſcheinlichſte Urſache der Irradiation ſcheint die zu ſein, daß der durch das Licht erzeugte Reiz ſich auf der Netzhaut ein wenig über den Umriß des Bildes fortpflanzt. Mittelſt dieſes Satzes, der übrigens auf Thatſachen geſtützt iſt, kann man alle Geſetze der mit bloßem Auge beobachteten Irradiation erklären; allein man ſtößt auf Schwierigkeiten, wenn man die Wirkung der Linſen in Betracht zieht.

B. Irradiation bei aſtronomiſchen Inſtrumenten.

15) Der Fehler bei aſtronomiſchen Beobachtungen, erzeugt durch das, was man hier Irradiation genannt hat, entſpringt aus zwei weſentlich verſchiedenen Urſachen: der Ocular-Irradiation und den Abirrungen des Fernrohrs.

16) Bei dieſem Geſammtfehler iſt der von der Ocular-Irradiation herrührende Theil abhängig von der Vergrößerung an ſich, von der Helligkeit des Gegenſtandes und von dem Auge des Beobachters. Er wird übrigens bedeutend verringert durch die Wirkung, welche das Ocular des Fernrohrs als eine vor das Auge gebrachte Sammellinſe ausübt; und dieſe Verringerung iſt wahrſcheinlich deſto größer, je kräftiger das Ocular iſt. In dem, was das Auge des Beobachters betrifft, muß die Wirkung verſchieden ſein von einer Perſon zur andern, und, für eine und dieſelbe Perſon, von einer Zeit zur andern.

17) Dieſer nämliche Theil des Geſammtfehlers verſchwindet bei den Beobachtungen, wo man ein Mikrometer mit doppeltem Bilde anwendet.

18) Der andere Theil des Geſammtfehlers, d. h. der aus der Abirrung des Fernrohrs entſpringende Theil, iſt nothwendig verſchieden in verſchiedenen Inſtrumenten; allein für ein und daſſelbe Fernrohr kann er als nahe conſtant betrachtet werden.

19) Der Irradiations-Effect bei Fernröhren oder der Gesammtfehler, herrührend von der Ocular-Irradiation und den Abirrungen des Instruments, ist nothwendig veränderlich, weil er von veränderlichen Elementen abhängt. Er wird in gewissen Fällen unmerklich, und in anderen sehr beträchtlich werden können.

20) Selbst mit einem mittelmäßigen Fernrohre und einem sehr zur Irradiation geneigten Auge ist es möglich, mit Hülfe gewisser Verfahrungsarten Resultate zu erhalten, die man als frei von diesem Gesammtfehler betrachten kann.

Es ist auffallend, daß Plateau, ungeachtet er selbst in Nr. 14 gesteht, daß seine Theorie auf Schwierigkeiten stößt, wenn man die Wirkung der Linsen in Betracht zieht, bei dieser Theorie beharrte. Es war daher auch Arago von Plateau's physiologischer Erklärung nicht befriedigt, als er über die Arbeit desselben im Jahre 1839 in der Pariser Academie Bericht erstattete. Arago versprach eine eigene Abhandlung über seine dahin gehörigen Erfahrungen und Ansichten, es ist dieselbe jedoch nicht erschienen; nach Plateau's Gegenerinnerungen *) scheint er indessen die Irradiation als auf dem Principe des anerkannt unvollkommenen Achromatismus des Auges beruhend angenommen zu haben, wenigstens macht der letztere unter dieser Voraussetzung den Einwand, daß man dann in der Beobachtung der Irradiations-Erscheinungen Farbensäume wahrnehmen müßte, was doch nicht der Fall sei. Daß Plateau auch hierin nicht Recht hat, ist von W. Haidinger nachgewiesen **), welcher dergleichen Farbensäume bei mit Stickpapiere angestellten Beobachtungen wahrgenommen hat, und auch Fliedner (s. unten) hat Beweise dafür beigebracht.

Plateau's Arbeit bedurfte einer nothwendigen Revision, der sich namentlich Fliedner unterzogen hat ***); doch ist auch schon vor diesem Dove ins Besondere durch stereoskopische Untersuchungen zu der Ansicht geführt worden, daß die Irradiation ihren Ursprung habe in dem Accommodationsvermögen des Auges, indem für eine gegebene Entfernung dieses für weiße Gegenstände ein anderes sei, als für schwarze ****). Auch Powell *****), Trouessart †) und Vallée ††) sind als Gegner Plateau's zu erwähnen; endlich hat H. Meyer †††) den Nachweis zu führen gesucht, daß die Irradiation hauptsächlich aus der sphärischen Abweichung des Auges entspringe.

Daß Plateau's Ansicht nicht richtig sein kann, ist bereits, als durch seine eigenen Forschungen begründet, oben hervorgehoben. Daß derselbe sich von seinem Irrthume nicht losmachen konnte, erklärt sich zum Theil daraus, daß er die Irradiation naher Objecte von derjenigen ferner gar nicht unterschieden hat. Hätte er dies gethan, so würde er sein 12. Gesetz als nur für nahe Objecte gültig

---

*) Moigno, Répertoire d'Optique moderne. T. II. p. 609.

**) Sitzungsbericht der math. naturw. Klasse d. K. Acad. d. Wiss. in Wien Octoberheft 1851; Pogg. Ann. Bd. LXXXV. S. 358.

***) Pogg. Ann. Bd. LXXXV. S. 321—350; 460 u. Bd. LXXXVIII. S. 29—44.

****) Pogg. Ann. Bd. LXXXIII. S. 182. Dove, Darstellung der Farbenlehre. Berlin 1853. S. 178.

*****) Phil. Magaz. 3. Reihe. T. XXXIV. 1849.

†) Compt. rend. 1852. p. 4.

††) Compt. rend. 1852. p. 19.

†††) Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 540.

erkannt haben, da für ferne Objecte der Erfolg gerade umgekehrt sich herausstellt, nämlich die Irradiation durch convergirende Linsen erhöht, und durch divergirende verringert wird. Wie wenig dies 12. Gesetz auf Gültigkeit Anspruch machen kann, geht auch daraus hervor, daß Plateau alle seine Beobachtungen nur mit jenseits oder in der Entfernung der deutlichen Sehweite befindlichen Gegenständen angestellt hat, mit Ausnahme derer, wobei er Linsengläser gebrauchte, und, wie aus seiner ganzen Darstellung hervorgeht, bezieht er das angeführte Gesetz, ungeachtet er es aus Beobachtungen dicht vor dem Auge befindlicher Objecte abgeleitet hatte, schlechthin auf die Irradiation ferner Gegenstände.

Derselbe Mangel an Unterscheidung der Entfernungen tritt auch, wie Fliedner hervorhebt, bei dem dritten Gesetze hervor. Für Entfernungen diesseits der deutlichen Sehweite ist dies Gesetz offenbar falsch, denn die scheinbare Breite der Irradiation nimmt dann nicht ab, wie es dies Gesetz verlangt, sondern im Gegentheile zu.

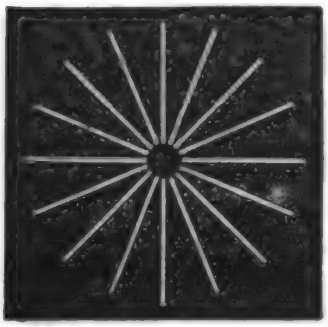
Entschieden gegen Plateau's Ansicht, daß die Irradiation in einer Ausbreitung des Lichteindruckes auf der Netzhaut zu suchen sei, sprechen mehrere Versuche von Meyer, von denen wir nur einen anführen wollen.

Sticht man in eine Tafel Pappe ein kleines Loch (mit einer Stopfnadel) und bringt nahe dahinter die Flamme eines gewöhnlichen Kerzenlichtes, während der übrige Raum des Zimmers dunkel ist, so erscheint einem Beobachter dieser leuchtende Punkt nur in der Nähe scharf begrenzt, in einiger Entfernung sieht man um denselben herum einen Strahlenkranz. Dieser nimmt anfänglich mit der Entfernung schnell zu, erreicht jedoch bald ein Maximum, welches sich dann auf eine ziemliche Entfernung nicht verändert, d. h. das im Auge entstehende Bild bleibt ziemlich dasselbe unabhängig von der Entfernung, nimmt also in Bezug auf die Umgebung in demselben Verhältnisse zu, als diese sich mit der Entfernung verkleinert. Bei größeren Entfernungen nimmt die Intensität bedeutend ab, die äußersten Strahlen werden nicht mehr gefühlt und so tritt wieder eine Verminderung des Strahlenkranzes ein. Die Entfernung, bei welcher der leuchtende Punkt beginnt Strahlen zu bekommen, hängt ab: 1) von dem Auge des Beobachters und 2) von der Größe der Oeffnung. Je kurzsichtiger das Auge ist, um so eher erscheint der Strahlenkranz; je größer die Oeffnung ist, eine um so größere Entfernung ist nöthig. — Geht man nun mit einem geschwärzten Blatte Papier, auf welches man scharf das Auge richtet, von der Seite hinein, so wird der Strahlenkranz immer mehr und mehr abgeschnitten. Als eine bloße Folge der Verminderung der Intensität durch die abgehaltenen Randstrahlen läßt es sich nicht darstellen, da dann das Zurückgehen der Irradiation ein anderes sein müßte, als es sich in der Wirklichkeit darstellt; es müßte sich der Strahlenkranz ringsherum vermindern und in das Papier hineinragen, aber es könnte nicht nur ein Theil desselben in ziemlich gerader Linie (im ersten Theile sogar in einer nach außen, also gerade entgegengesetzt gekrümmten Linie als es der Irradiation zufolge sein müßte) verdeckt werden, während der übrige Theil des Strahlenkranzes unverändert bleibt. Geht man mit dem geschwärzten Blatte so weit vor dem Auge vorüber, daß der eigentliche lichte Kern (die Centralstrahlen) vollkommen verdeckt ist, so sieht man doch noch einen Theil des Strahlenkranzes und kann durch allmäliges Verrücken diesen bis zum äußersten Strahle verfolgen; der äußerste

Strahl iſt der letzte, welcher verſchwindet. Bei der Erklärungsweiſe von Plateau wäre dies nicht möglich; man müßte den mittelſten Punkt wahrnehmen bis faſt alle Randſtrahlen aufgehoben ſind. Dabei müßte die verminderte Intenſität eine Verminderung des Kranzes von der Peripherie herein bedingen und der eigentliche Kern müßte der letzte Punkt ſein, welcher verſchwindet.

Unter den Verſuchen, welche Fliedner angeſtellt hat, um hinter die Urſache der Irradiation zu kommen, iſt folgender beſonders inſtructiv.

Auf einer kreisförmigen Scheibe von ſehr weißem Kartenpapier ziehe man mit ſchwarzer Tuſche 8 oder 16 gleiche Winkel einſchließende Durchmeſſer von höchſtens 0,1 Linie Breite (ſ. beiſtehende Figur). Bringt man dieſe Scheibe in ſenkrechter Stellung zuerſt ſo dicht vor ein Auge (während das andere verſchloſſen iſt), daß alle Durchmeſſer undeutlich oder doppelt erſcheinen, und entfernt ſie dann, ſo ſieht man



a) in einer erſten bemerkenswerthen Entfernung einen der Durchmeſſer, er heiße der erſte, ſchwärzer und mit ſchärferer Begrenzung, den auf ihm ſenkrecht ſtehenden aber heller und breiter, als vorher und nachher hervortreten, während die übrigen Durchmeſſer eine von jenem nach dieſem zu abnehmende Schwärze und Begrenzungsſchärfe zeigen. Entfernt man nun die Scheibe allmälig weiter, ſo gewahrt man, daß jener erſte Durchmeſſer wieder etwas heller wird, dagegen die ihm rechts und links zunächſt liegenden an Schwärze und ſcharfer Begrenzung zunehmen, und daß zugleich auch der auf dem erſten ſenkrechte, ſo wie die ihm zunächſt rechts und links liegenden Durchmeſſer etwas dunkler werden. Die dem erſten rechts und links zunächſt liegenden nehmen dann wieder etwas an Schwärze ab, die darauf folgenden aber, ſo wie immer noch die auf jener ſenkrechten an Schwärze zu, und dieſe Drehung ſchreitet nun mit der Entfernung der Scheibe fort, bis

b) die in einer zweiten bemerkenswerthen Entfernung, wenn die Reihe, am ſchwärzeſten zu werden, an die mit dem erſten einen Winkel von 45° bildenden mittleren Durchmeſſer gekommen iſt, alle Durchmeſſer gleiche Intenſität zeigen; oft indeſſen treten dabei die mittleren Durchmeſſer etwas ſtärker hervor. Entfernt man die Scheibe noch weiter, ſo ſchreitet von den mittleren Durchmeſſern aus nach einer Seite das Schwärzerwerden, nach der anderen das Hellerwerden der Durchmeſſer fort, bis endlich

c) in einer dritten bemerkenswerthen Entfernung der auf dem erſten ſenkrecht ſtehende Durchmeſſer die größte, der erſte ſelbſt aber die geringſte Schwärze und Begrenzung zeigt.

Von da an nehmen bei noch weiterer Entfernung der Scheibe alle Durchmeſſer mehr und mehr an Deutlichkeit ab.

Aus dieſen Verſuchen mit der Durchmeſſerſcheibe folgt, daß jedes Auge in einem beſtimmten Querſchnitte eine kürzere, in dem darauf ſenkrechten eine größere Brennweite hat, als in den übrigen Querſchnitten, und daß daher die von einem leuchtenden Punkte ins Auge fallenden Lichtſtrahlen niemals in einem einzigen Punkte zuſammentreffen, ſondern nur innerhalb einer Brenn-

ſtrecke, welche, je nach der Entfernung des leuchtenden Punktes, die Netzhaut mit ihren Endpunkten trifft, oder ſie durchſchneidet, oder ganz vor oder hinter ſie fällt.

Hiernach hält ſich Fliedner berechtigt, die ſogenannten Irradiationserſcheinungen als auf der Lichtzerſtreuung beruhend anzuſehen, die theils von dem mangelhaften Accommodationsvermögen, theils von der eben erwähnten Beſchaffenheit der Augen herrühren, eine Anſicht, welche zum Theil ſchon von Kepler aufgeſtellt worden iſt *).

Es hat ſich nun Fliedner **) auch bemüht, die Verhältniſſe feſtzuſtellen, welche ſich auf die Farben beziehen, welche bei den in Rede ſtehenden Erſcheinungen auftreten. Wir können dieſe Unterſuchungen an dieſer Stelle um ſo mehr übergehen, da ſich die Erſcheinungen bei dem anerkannten Mangel des Achromatismus im Auge und der verſchiedenen Brechbarkeit der Farben ohne Weiteres verſtehen müſſen, wenn wir die verſchiedenen Brennweiten des Auges, wie ſich dieſelben mit Hülfe der Durchmeſſerſcheibe ergeben, zu Grunde legen. Auch Dove's Unterſuchungen (ſ. oben) können wir hier übergehen. Es genüge die Anführung von dem Endreſultate, zu welchem Fliedner gelangte:

Die Erſcheinungen der Irradiation ſind ſubjectiv durch das Vorhandenſein der Brennſtrecke im Auge und durch die Mangelhaftigkeit des Adaptionsvermögens deſſelben, objectiv einzig und allein durch den Unterſchied der Helligkeit der verſchiedenen aneinander grenzenden Sehobjecte bedingt. Die Farbenzerlegung des Lichtes durch das Auge hat auf jene Erſcheinungen nur einen acceſſoriſchen und ſo wenig beſtimmenden Einfluß, daß ſie auch bei monochromatiſchem Lichte ſtattfinden.

Gegen die Anſicht, daß die Irradiationserſcheinungen die Folge einer unrichtigen Lage der Netzhaut ſeien, iſt namentlich Meyer aufgetreten. Die Mangelhaftigkeit des Adaptionsvermögens, in ſofern die Netzhaut ſich der Entfernung der Oeffnung accommodire, das Licht ſelbſt aber etwas zurückſtehe und alſo ein Bild vor der Netzhaut erzeuge, als Grund für die vorliegenden Erſcheinungen wird

*) In Betreff der Adaption oder Accommodation bemerken wir, daß es heutiges Tages als das Wahrſcheinlichſte angenommen wird, daß der Vorgang der Adaption auf nähere Objecte hauptſächlich auf dem Zurückweichen der Netzhaut und dem Vorrücken der Linſe, alſo auf einer Verlängerung der Axe des Glaskörpers beruhe. „Dieſe Verlängerung wird durch eine auf den äquatorialen Umfang des Augapfels ausgeübte Zuſammendrückung hervorgebracht, welche beide ſchiefe Muskeln im Verein mit den beiden geraden M. internus und M. externus mittelſt gleichzeitiger Zuſammenziehung bewirken.“ (Liſting in Wagner's Handwörterb. der Phyſiologie. Bd. IV. S. 501.) Durch dieſe Zuſammenziehung wird nun wahrſcheinlich die Cornea in ihrem horizontalen Durchſchnitte etwas converer und die größere Kurzſichtigkeit der meiſten Augen für verticale, als für horizontale Linien innerhalb der deutlichen Sehweite ließe ſich dann ſchon allein daraus erklären. Bei der Adaption in die Ferne läßt nun aber die ſeitliche Zuſammendrückung des Bulbus nach, und daher wird der horizontale Durchſchnitt der Cornea weniger conver. Nimmt man nun noch an, daß eine Anſpannung des oberen und des unteren geraden Muskels beim Sehen in die Ferne den verticalen Durchſchnitt der Cornea etwas converer mache, ſo iſt die Erſcheinung erklärt. — (Fliedner a. a. O. Nr. 27.)

**) A. a. O. Nr. 31—41.

von ihm durch mehrfache Thatsachen zurückgewiesen, z. B. daß man in entsprechender Entfernung einen Irradiationskranz auch um Licht sieht, welches nicht durch einen kleinen Punkt fällt, um jedes Kerzenlicht, um jede Straßenlampe ꝛc. Den Einwand, daß die Lichtquelle ein Körper sei, also das Licht nicht von einer Ebene ausſende, widerlegt er durch Rechnung, welche eine Vergrößerung, wie sie hier sich zeigt, nicht ergiebt. Ueberdies zeigt er durch Versuche, daß die Stellung des Lichtes gegen die Oeffnung auf den Erfolg der Erscheinung fast ohne Einfluß ist, so lange die Helligkeit außer Acht gelassen werden kann. Endlich macht er darauf aufmerksam, daß die Irradiation sogleich wegfallen oder sich doch ungemein vermindern müsse, wenn man das Auge auf den hellen Punkt richtet, d. h. der Entfernung des Lichtes accommodirt, was *nicht* der Fall ist; überdies sei es wahrscheinlich, daß das Auge sich unwillkürlich der Entfernung des Lichtes und nicht der dunkleren Oeffnung anpassen werde.

Eben so wenig stimmt *Meyer* der oben angeführten Ansicht *Kepler's* bei, da nach derselben alle Augen in der Entfernung, in welcher sie den Strahlenkranz sehen, kurzsichtig sein müßten. Es bedarf dies hier keiner weiteren Erläuterung. Die Thatsachen, welche derselbe nun anführt als Beweis für die im Auge stattfindende sphärische Abweichung können wir hier auch nicht alle aufführen; es genüge Folgendes:

Wenn man in ein Kartenblatt zwei feine Nadellöcher macht, deren Entfernung von einander kleiner sein muß, als der Durchmesser der Pupille, und die Oeffnung dicht vor das Auge hält, so sieht man einen kleinen Gegenstand, etwa einen Nadelknopf, den man innerhalb der Sehweite vor die Löcher hält, doppelt. Von dem kleinen Gegenstande gelangen nämlich nur zwei ganz feine Strahlenbündel durch die beiden Löcher ins Auge; die beiden Strahlen convergiren aber nach einem Punkte, der hinter der Netzhaut liegt; sie treffen also die Netzhaut in zwei verschiedenen Punkten. Es sind dies zwei isolirte Punkte des Zerstreuungskreises, welcher auf der Retina entstehen würde, wenn die übrigen Strahlen nicht durch das Kartenblatt aufgefangen würden. Wenn man den kleinen Gegenstand mehr und mehr entfernt, so nähern sich die Bilder, weil die beiden durch die Löcher ins Auge fallenden Strahlen nun weniger divergiren und also auch nach einem Punkte hin gebrochen werden, welcher der Retina näher liegt. Hat man den Gegenstand bis auf die Weite des deutlichen Sehens vom Auge entfernt, so fallen die beiden Bilder vollkommen zusammen, weil alle Strahlen, die von einem Punkte ausgehen, der gerade um die Weite des deutlichen Sehens vom Auge entfernt ist, in einem Punkte der Netzhaut vereinigt werden. Entfernt man den Gegenstand weiter vom Auge, so wird, wenn die Netzhaut ihre Lage *nicht* ändert, der Vereinigungspunkt der Strahlen nun *vor* die Netzhaut fallen und man somit wieder zwei Bilder erhalten müssen, die jedoch ihre Lage geändert haben; das Bild, welches erst rechts erschien, wird nun links und umgekehrt sichtbar werden. Wenn das Auge aber die Fähigkeit besitzt, sich der Entfernung zu accommodiren, so wird man den Gegenstand immer nur einfach erhalten, wenn nicht der Einfluß der sphärischen Abweichung eine Aenderung bedingt. Nun erscheint der Gegenstand aber wirklich doppelt, namentlich bei kurzsichtigen Augen in geringerer Entfernung, und überdies *richtet sich die Entfernung*, bei welcher wieder Verdoppelung eintritt, *nach der Entfernung der Oeffnungen*, was nicht möglich ist, wenn nicht sphärische Abweichung angenommen wird. Das Auge besitzt also *nicht*

die Fähigkeit, sich bei einiger Entfernung der Vereinigung der Randstrahlen zu accommodiren, wohl aber der Vereinigung der Centralstrahlen. Man kann also annehmen, daß für ganz nahe Strahlen sich ein gutes Auge auf ziemlich große Entfernungen zu accommodiren vermag, nicht so für Randstrahlen, deren Vereinigungspunkt durch die sphärische Abweichung bei einiger Entfernung weiter hineinfällt.

Um nun die Irradiationserscheinungen aus der sphärischen Abweichung zu erklären, macht Meyer noch von folgenden Sätzen Gebrauch:

1) Ist ein Theil der Netzhaut stark gereizt, so verliert der anliegende Theil an seiner Empfindlichkeit *).

2) Der Durchmesser der Pupille ist veränderlich; bei starkem Lichte vermag sie sich zu verengen, bei schwachem zu erweitern, und einen gleichen Einfluß übt die Entfernung des Gegenstandes aus.

3) Die Wirkung der Centralstrahlen ist eine intensivere als die der Randstrahlen, und es werden letztere um so schwächer, je mehr sie sich von den Centralstrahlen entfernen:

a) weil letztere durch Reflexion mehr geschwächt sind; b) weil sie sich bei Annahme sphärischer Abweichung auf einen größeren Raum erstrecken und c) weil sie schief auf die Netzhaut fallen.

Wir sehen hieraus, daß selbst nach Meyer's Ansicht, welche übrigens an die von Joslin erinnert, das Irradiationsphänomen ein complicirtes ist, denn selbst Gassendi's Ansicht, welcher die Erklärung in die Pupille verlegte (s. oben), ist ein Factor, den er zur Geltung zu bringen gezwungen wird; wir werden also wohl auch, neben dem nicht zu bestreitenden Einflusse der sphärischen Abweichung, gut thun, die durch die Durchmesserscheibe von Fliedner erwiesene verschiedene Brennweite in den verschiedenen Querschnitten des Auges bei diesem Phänomen mit in Rechnung zu ziehen. Jedenfalls sind jetzt die unhaltbaren Theorien, wie die von Plateau, in ihrer Unhaltbarkeit nachgewiesen, und anderer Seits erscheinen die auf das Phänomen Einfluß ausübenden Punkte so erschöpfend festgestellt, daß die Erklärung nun als sicher begründet angesehen werden dürfte.

H. E.

Irrlichter. Während im Munde des Volkes diese Erscheinung unzweifelhaft feststeht, ja als etwas ganz Gewöhnliches gilt, von dem viel erzählt wird, hat sie sich vorurtheilsfreien Augen so selten dargeboten, daß wir nicht allein über das Wesen derselben vollständig im Unklaren sind, sondern auch die Existenz überhaupt sogar noch von einigen Männern der Wissenschaft bestritten wird. So weit darf man aber auch nicht gehen, denn die neuere Zeit hat uns einige, freilich sehr vereinzelt dastehende Beobachtungen geliefert, die man nicht ganz verwerfen kann.

Im Allgemeinen belegt man mit dem Namen Irrlicht eine Lichterscheinung, die sich namentlich an sumpfigen Orten, überhaupt da, wo thierische oder pflanzliche Stoffe verwesen, also auf Kirchhöfen ꝛc. dicht über dem Erdboden in der Luft schwebend und in beständiger Bewegung zeigen soll, besonders reichlich in wärmeren Gegenden. Ist die Flamme von beträchtlicher Größe, so nennt man sie

*) Brewster in Pogg. Ann. Bd. XXVII.

Irrwisch. Unter den älteren Berichten sind sehr wenige, die Vertrauen verdienen, denn einmal tragen sie stark das Gepräge eines Vorurtheils, genährt durch den Aberglauben, den diese Erscheinungen in der Phantasie des Volkes erweckten und der sogar die Gelehrten theilweise ansteckte, und dann hat man hier viele Dinge unter einander gemengt, die ganz davon zu sondern sind. Daher gehen wir hier auch gar nicht darauf ein, denn Aufschluß gewähren sie in keiner Weise, da sie oft sogar der Zuverlässigkeit entbehren. Hierüber klagt schon Gilbert *) und doch sollte es nicht schwer halten, wenn diese räthselhafte Erscheinung wirklich so häufig wäre, wie man erzählt, zuverlässige Beobachtungen in Menge beizubringen, denn mancher Physiker hat Nächte im Freien zugebracht und gerade an geeigneten Stellen. Selbst die neueste Zeit, die doch so Manches aufgeklärt hat, ist äußerst arm an zuverlässigen Beobachtungen, aber diese wenigen erregen einiges Interesse.

Unter ihnen verdient am meisten die älteste ihres Gewährsmannes wegen, des bekannten Astronomen Bessel **) Beachtung. In einer völlig trüben und windstillen Nacht, in welcher von Zeit zu Zeit ein schwacher Regen fiel, — früh am 2. December 1807 — als er auf dem Flüßchen Wörpe in einem Kahne fuhr, beobachtete er aus der Ferne auf einem großen Moore des Herzogthums Bremen, 2 Meilen nordöstlich von dem Amte und der ehemaligen Sternwarte Lilienthal hunderte von Flämmchen von etwas bläulicher Farbe, ähnlich der des unreinen Wasserstoffgases, die nach einiger Zeit wieder verschwanden. Die Lichtstärke war unbeträchtlich, da nicht bemerkt werden konnte, daß der Grund, über welchem die Flammen brannten, merklich erleuchtet worden wäre oder daß ihre oft große Zahl eine merkliche Helligkeit verbreitet hätte. Oft blieben die Flämmchen in unveränderter Stellung, oft nahmen sie eine Stellung in horizontaler Richtung an, welche gewöhnlich zahlreiche Gruppen derselben gleichzeitig erfuhren, so daß einer der Augenzeugen sie mit schaarenweise ziehenden Wasservögeln verglich. Auf der Stelle, wo die Irrlichter erschienen, hatten die Moor-Colonisten vielen Torf gegraben, wodurch der Boden uneben und der Ansammlung des Wassers günstig geworden. Das hohe Moor schienen die Flämmchen nie zu ersteigen. Die Ruderer des Kahnes, die diesen Weg oft in der Nacht machten, betrachteten diese Erscheinung als etwas ganz Gewöhnliches und waren weit davon entfernt überrascht zu sein.

Die Zweifel, welche sich immer noch gegen das Dasein dieser räthselhaften Erscheinung geltend machen, veranlaßten den Dr. Galle das, was ihm ein Studirender der Astronomie, Vogel aus Leipzig, der zweimal Irrlichter gesehen haben wollte, darüber erzählte, öffentlich bekannt zu machen ***). „Zuerst", heißt es, „sah ich Irrlichter in der sächsischen Lausitz an einem dunkeln, regnigten Abend des Septembers 1849 auf dem Wege von Kamenz nach Königsbrück. Auf dem sumpfigen Ufer einiger Teiche zeigten sich eine Menge jener kleinen Flämmchen. Die Bewohner der Gegend erklärten die Erscheinung für sehr gewöhnlich. — Im darauf folgenden November wurde ich darauf aufmerksam gemacht, daß auf einer kleinen, feuchten, erst in neuerer Zeit mit Gräben durchzogenen Wiese vor dem

*) Ann. Bd. LXX. S. 223.
**) Pogg. Ann. Bd. XLIV. S. 366.
***) Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 593.

Tauchaer Thore bei Leipzig in der Nähe der Dresdner Eisenbahn sich Irrlichter in Menge sehen ließen. An einem ziemlich kalten und hellen Abend bemerkte ich in dem nur schlammigen Graben ein schwaches Leuchten und sah ein kleines Flämmchen, etwa so hell wie Dämpfe, die ein schwach geriebenes Phosphorhölzchen ausstößt, und diesen sehr ähnlich, aufflammen, sogleich wieder verschwinden und nach etwa drei Secunden an derselben Stelle wieder kommen und eben so rasch erlöschen. Ich beobachtete dasselbe in unmittelbarer Nähe mehrere Minuten, ohne daß ich einen besonderen Geruch oder Rauch bemerkt hätte. Das Flämmchen leuchtete etwa 3 Zoll über dem Boden und war etwa 1 Zoll hoch und glich vollkommen der Erscheinung bei Kamenz; nur waren dort die Lichtchen weit zahlreicher, so daß es fast das Ansehen hatte, als schiene der Mond auf bewegtes Wasser. Ein Forthüpfen habe ich nie bemerkt, indeß hatte es, wenn ein Flämmchen erlosch und ein anderes an einer anderen Stelle erschien, das Ansehen, als ob sie sich bewegten. Der in der Nähe der Wiese stationirte Eisenbahnwärter erzählte von der Menge Johanniswürmchen, welche so spät noch die Wiese bedeckten." Außerdem will Vogel auch auf Reisen fast überall, wo sumpfige Wiesen waren, gehört haben, daß die Irrlichter auch von gebildeten Leuten als eine ganz ausgemachte Sache und gewöhnliche Erscheinung angesehen wurden. Wir wollen hierzu bemerken, daß uns die jüngste Zeit hinreichend gelehrt hat, einen wie großen Werth die Aussagen der sogenannten gebildeten Leute haben. In Leipzig hat man sich die Mühe nicht verdrießen lassen, eine lange Zeit hindurch nach dem bezeichneten Orte hinaus zu wandern, ohne je auch nur eine Spur von einem Irrlichte gesehen zu haben.

Ferner berichtet Knorr, Professor der Physik an der russischen Universität Kiew *), daß er dreimal in seinem Leben Irrlichter gesehen habe, freilich zweimal in seiner Kindheit und zwar jedesmal ruhig leuchtend, nicht hüpfend. Zum dritten Mal trat ihm das Irrlicht in einer sumpfigen Niederung entgegen, als er spät Abends schon als Student auf einer kleinen Wanderung von Schlieben nach Herzberg begriffen war. Eben aus der tiefen Dunkelheit, mit welcher ein Wald die Straße bedeckte, herausgetreten, bemerkte er an dem Waldsaume auf einer Hutung einige Lichter. Anfangs glaubte er, daß Bauern mit Laternen im Sumpfe seien, um dort etwa weidende Pferde einzufangen. Jedoch war die Dämmerung noch licht genug, um auf der freien Fläche sich bewegende Menschen zu erkennen, besonders wenn sie Laternen trugen. Es war aber weder von Menschen noch von Vieh etwas zu sehen oder zu hören. Weiterhin auf dem Wege bot sich ihm ein unerwartetes Schauspiel dar. Kaum einige Schritte von dem Wege leuchtete das schönste Irrlicht. Zwischen den Blättern von einigen hohen Schilfstauden schimmerte das falbe Licht durch; den Hintergrund bildete ein Erlenbusch, fast im Halbkreise gewachsen, so daß das Lichtchen wie in einer grünen Nische stand. Busch, Schilf und Gras waren so schön beleuchtet, daß Knorr längere Zeit das liebliche Bildchen mit wahrem Entzücken betrachtete. Der Sumpf verbot die Annäherung an das Licht; K. konnte nur so weit vorrücken, um das Schilf gerade nur mit den Fingerspitzen zu berühren. Mit Hülfe des Stockes gelang es ihm, das Schilf so weit herunterzuschlagen, daß der obere Theil des Flämmchens ganz sichtbar wurde. So weit er es frei betrachten konnte, schätzt er die Länge auf 5", die Breite

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 620.

auf $1^1/_2$''; die Form giebt er als Cylinder an. Das Licht war in der Mitte matt, ohne Glanz, mit einem schwach gelben Schein, gegen die Ränder wurde es erst leicht, dann dunkler violett und verlor sich in dem dunkeln Raum ohne scharfe Begrenzung. Die Luft war ganz ruhig und auch das Lichtchen zeigte durchaus keine Bewegung. Selbst wenn man einen starken Luftzug hervorzubringen suchte, so zeigte das Licht bei weitem nicht die Beweglichkeit einer gewöhnlichen Flamme. K. hielt die Spitze seines mit einer dünnen Hülse von Messingblech beschlagenen Stockes wohl über eine Viertelstunde lang in die Flamme, konnte jedoch nicht die geringste Spur einer Erwärmung bemerken. Als er versuchte den Sumpf mit dem Stocke aufzurühren, äußerte dies keine Wirkung auf das Irrlicht. 27 Jahre sind seitdem verflossen, viele Nächte ist K. seit jener Zeit in den verschiedensten Gegenden auf der Landstraße oder sonst im Freien gewesen und hat nie wieder ein Irrlicht gesehen. Keiner seiner Bekannten, die er darum befragte, kannte diese Erscheinung anders als nur durch Hörensagen.

Mit diesen Beobachtungen im Widerspruch steht die Aussage von de la Selve *). Am 22. December 1839 des Abends, bei gelindem und regnigtem Wetter sah man zu Fontainebleau in mehreren Straßen phosphorische Flammen aus schlammigen Pfützen aufsteigen. Beim Austreten aus dem Wasser, aus dem sie sich zu erheben schienen, bewirkten diese Flammen ein Knistern. Ueberall, wo man diese Erscheinung beobachtete, war die Luft mit einem starken Phosphorgeruch erfüllt, selbst bis zu einem ziemlichen Abstande von den Pfützen, aus denen die Flammen entwichen. Je mehr man das Wasser umrührte, desto häufiger zeigte sich der phosphorische Schimmer.

Auch Richter, Director der Realschule in Saalfeld, bezeugt **) das Dasein der Irrlichter. Zum ersten Mal — freilich noch als Knabe — sah er Irrlichter auf einer Nachtfahrt über den Rosengarten in der Nähe von Oberhof. Der Luftzug, den der schnell rollende Wagen erregte, riß ein Irrlicht mit fort, das sich in Sprüngen mit fort bewegte. Dann sah er als Student an einem regnerischen Abend auf einer Wiese bei Römhild, die aus einem trocken gelegten Teiche gewonnen worden war, zwei Irrlichter ruhig stehen. Auch bei Saalfeld sollen solche am Grenzhause manchmal vorkommen.

Hierauf beschränken sich im Wesentlichen unsere ganzen Kenntnisse dieser räthselhaften Erscheinung. Keine der mitgetheilten Beobachtungen ist geeignet auch nur den geringsten Aufschluß über die Ursache oder das Wesen der Irrlichter zu geben und so blieb denn der Phantasie ein weiter Spielraum. Es fehlt daher nicht an versuchten Erklärungen, von denen aber keine genügt. Die Zweifler, auch schon in älterer Zeit, wie Willoughby, Ray und Vallisneri setzen alle Irrlichter auf Rechnung leuchtender Insecten. Kastner ***) bringt die Irrlichter mit den Sternschnuppen und Kometen zusammen, eine Ansicht, die keiner Widerlegung bedarf. Andere lassen hierbei die Elektricität mitwirken; so Volta ****), der eine Entwickelung von Kohlenwasserstoffgas (Sumpfgas)

*) Compt. rend. T. X. p. 202.
**) Zeitschr. f. d. gesammt. Naturw. Bd. III. S. 49.
***) Meteorologie. Bd. I. S. 416.
****) Lettere sull' aria inflammabile nativa delli paludi. Como 1776.

annahm, das durch einen elektrischen Funken entzündet werden sollte. Daran aber ist nicht zu denken. Schon Gehler hält sie für die Wirkung einer durch Fäulniß erzeugten phosphorescirenden Materie. In dieser Hinsicht verdient eine Bemerkung von Dechales Beachtung. Er erzählt, daß Fludd, als er einst ein Irrlicht verfolgt und zu Boden geschlagen hatte, eine schleimige Substanz wie Froschlaich gefunden habe. Eine ganz gleiche Beobachtung berichtet Chladni *). Er sah 1781 an einem warmen Sommerabend kurz nach einem Regen in einem Garten bei Dresden viele leuchtende Punkte im Grase hüpfen, welche sich nach der Richtung des Windes bewegten und deren einige sich an die Räder des Wagens setzten. Sie flohen bei der Annäherung und es war schwer, sie zu erhaschen; gelang es aber, so zeigten sie sich als kleine gallertartige Massen, dem Froschlaich oder gekochten Sagokörnern ähnlich. Sie hatten weder einen bemerklichen Geruch, noch Geschmack und schienen modernde Pflanzentheile zu sein. Dadurch wäre freilich, wenn diese Beobachtung eine weitere Bestätigung gefunden hätte, die räthselhafte Erscheinung auf eine mehr bekannte zurückgeführt, aber gewonnen wäre trotzdem nichts, denn das Leuchten lebender oder verwesender Pflanzen ist bis jetzt eben so wenig erklärt.

Ferner nimmt man an, daß die Irrlichter Folge einer Gasentwickelung seien. Die Orte, an welchen hauptsächlich die Irrlichter vorkommen sollen, lassen nun zwar, wegen der dort in Zersetzung begriffenen thierischen und pflanzlichen Stoffe eine Entwickelung von Phosphorwasserstoff zu, aber damit ist auch nichts gewonnen. Vogel bemerkt ausdrücklich, daß die Irrlichter weder der Flamme selbstentzündlichen Phosphorwasserstoffgases noch der der Sumpfluft ähnlich gewesen seien. Eben so wenig ist von dem sich nicht selbst entzündenden Phosphorwasserstoffgase bekannt, daß es im Dunkeln leuchte.

Mit der allgemeinen Annahme, daß die Irrlichter nicht wirkliche Flammen sind, sondern nur phosphoresciren, so wie überhaupt mit den gemachten Mittheilungen steht eine Beobachtung des Dr. Quirico Varilli Filopanti zu Bologna **) im Widerspruch. Ein Maler versicherte ihm, daß eines Abends plötzlich auf der Straße zwischen den Steinen, so zu sagen zwischen seinen Füßen, ein feuriger Ball in Gestalt einer Flamme emporgestiegen sei, die sich schnell erhob und gleich darauf verschwand. Er wollte die Hitze im Gesicht, an dem sie nahe vorbeigegangen, deutlich gefühlt haben. F. fand sich dadurch veranlaßt eine lange Zeit hindurch des Abends fleißig diejenigen Orte in der Umgegend zu besuchen, die ihm als solche bezeichnet wurden, an denen Irrlichter zum Vorschein kämen. Obgleich sie sich gerade im Herbst am häufigsten zeigen sollten, waren doch seine Gänge oft vergebens und im Ganzen bekam er nur drei Irrlichter zu sehen, in verschiedenen Nächten. Das erste war, wie er sagt, eines von jenen, die aus der Erde kommen, sich bis zu einer gewissen Höhe erheben und dann plötzlich verlöschen. Dies stieg schnell bis zur Höhe von 3 bis 4 Meter auf und verschwand mit einem kleinen Knall. Das zweite bewegte sich horizontal, wurde lange verfolgt, aber vom Winde über einen Fluß getragen. Das dritte wurde in der Nähe einer Hanfröste in der Parochie St. Donino, die, namentlich bei der kleinen Kirche

*) Ueber den Ursprung einiger Eisenmassen. Leipzig 1794. S. 334.
**) Annali di fisica. 1841. Vol. III. p. 36. Pogg. Ann. Bd. LVI. S. 380.

Ascenſione reich an Irrlichtern ſein ſoll, beobachtet. Nach längerem vergeblichen Warten erſchien endlich an einem regnigten Octoberabend, dem ein Nordlicht vorangegangen war, das erwünſchte Licht. Es hatte die Geſtalt und Farbe einer gewöhnlichen Flamme, Oben mit einem leichten Rauch, war faſt ein Decimeter dick und ſchritt langſam von Süden nach Norden vorwärts. Als F. ſich ihm näherte, änderte es die Richtung und entfernte ſich, wobei es ſich erhob. Werg, welches, um einen Stock gewickelt, hineingehalten wurde, entzündete ſich mit Leichtigkeit und als F. den Stock über ſeinem Kopf ſchwang, wurde das brennende Werg ſehr leicht durch die fernſtehenden Bauern von dem Irrlichte unterſchieden. Kurz darauf erloſch daſſelbe in einer Höhe von 2 bis 3 Mann. Ein anderes kleineres erſchien ſehr bald wieder auf einer weiterhin gelegenen Röſte, erloſch aber ſchon nach einigen Secunden. F. ſah weder in dieſer Nacht noch nachher dieſe Erſcheinung. Die Ueberreſte des Werges rochen nicht nach Phosphor, ſondern hatten einen gewiſſen ſehr ſchwachen Geruch, der etwas Schwefelartiges und Ammoniakaliſches zu haben ſchien.

Dergleichen Erſcheinungen ſollen in Italien häufig ſein, namentlich auf einigen dürren Hügeln bei Nizza *) und auf moraſtigen Wieſen am Po. Doch vom wirklichen Brennen wird nichts gemeldet, man hält ſie auch nur für phosphoresceirende Gasſtröme. Von den oben beſchriebenen Erſcheinungen ſind ſie jedoch ihrer bedeutenden Größe wegen weſentlich verſchieden. Das Volk nennt ſie dort gleichfalls Irrlichter und erzählt ſich von ihnen dieſelben Mährchen wie bei uns. Hierher iſt auch ein Phänomen zu rechnen, welches Dr. Doé im Mai 1821 auf einer moraſtigen Wieſe bei Brienne ſah. Ihm ſcheinen ähnliche Vorgänge — die Irrwiſche — ganz unbekannt geweſen zu ſein, denn er bringt dieſe Erſcheinung, von der er freilich eine abenteuerliche Beſchreibung macht **), mit mancherlei anderem zuſammen. Das Licht hatte bei einer mächtigen Ausdehnung in die Breite eine Höhe von 12 Fuß, ſank aber nach einer halben Stunde bis auf 4 Fuß herab. Der Glanz, ohne Hitze, war ſo bedeutend, daß man dabei leſen konnte. Er verſchwand erſt nach einer Stunde.

Ueberblicken wir das Geſagte, ſo müſſen wir die Exiſtenz dieſer räthſelhaften Erſcheinungen wohl zugeben, aber über das Weſen und den Grund weder der einen noch der anderen wiſſen wir auch nicht das Geringſte. In heutiger Zeit unterläßt es die ernſte und nüchterne Wiſſenſchaft, da, wo die Beobachtung zugänglich iſt, ſich in luftige Hypotheſen zu verlieren; nur ſorgfältige Beobachtungen können hier zu einer Erklärung führen. W. B.

Isobarometrische Linien, ſ. Atmoſphäre Bd. I. S. 522.

Isochromatiſche Linien, ſ. Polariſation des Lichtes.

Isochronismus, ſ. Compenſation und Pendel.

Isoclinische Linien, ſ. Neigung der Magnetnadel.

Isogoniſche Linien, ſ. Abweichung der Magnetnadel.

Isodynamiſche Linien, ſ. Magnetismus der Erde.

---

*) Risso, hist. natur. des princip. productions de l'Europe meridionale. Paris 1826. p. 296.

**) Gilb. Ann. Bd. LXX. S. 225.

Isomerie — gebildet aus ἴσος, gleich und μέρος, Theil, Antheil. Mit diesem Wort, das von Berzelius in die Chemie eingeführt worden ist *), bezeichnet man die Eigenthümlichkeit zweier oder mehrerer Verbindungen bei gleicher procentischer Zusammensetzung mit wesentlich verschiedenen Eigenschaften aufzutreten, so daß die isomeren Verbindungen sehr oft trotz der gleichen elementaren Zusammensetzung, nicht die mindeste Aehnlichkeit mit einander zeigen; oft stehen sie sich näher und hier ist die Verschiedenheit mehr physikalischer Natur, d. h. die eine Verbindung ist krystallinisch, die andere nicht, aber die Form der Krystalle, die Härte, das specifische Gewicht, der Schmelzpunkt ꝛc. ist verschieden. Solche Verbindungen nennt man Modificationen. Die chemischen Eigenschaften zeigen auch hier Abweichungen, doch sind diese mehr untergeordneter Art. Hierher könnte man alle unorganischen Verbindungen rechnen, die bei gleicher procentischer Zusammensetzung dasselbe Atomgewicht besitzen; also Kieselsäure, Zinnoxyd, Chromoxyd, arsenige Säure, Queckſilberoxyd ꝛc., bei denen dergleichen vorkommt, deren verschiedene Verbindungen sich aber doch gegen die Hauptreagentien genau auf gleiche Weise verhalten und die alle mehr oder weniger leicht aus der einen in die andere übergeführt werden können. Doch ist man hier in der Bezeichnungsweise durchaus nicht einig.

Anders ist es nun bei den organischen Verbindungen überhaupt und bei einigen unorganischen. So z. B. besitzen Zucker, Stärkemehl und Dextrin alle drei die Formel $C^{12} H^{10} O^{10}$; aus der unorganischen Chemie führen wir als Beispiel die unterschweflige Säure und die Pentathionsäure an, die beide genau gleiche Mengen von Schwefel und Sauerstoff enthalten, aber doch ganz verschiedene Körper sind, wie auch die drei ersteren sich wesentlich von einander unterscheiden.

Die Fortschritte der organischen Chemie stellten eine große Zahl isomerer Verbindungen auf und unter diesen zeigte sich wieder eine Verschiedenheit, die eine weitere Eintheilung verlangte. Berzelius unterscheidet **) zwei Klassen von isomeren Verbindungen; solche, welche dieselbe absolute und relative Anzahl von Atomen derselben Elemente enthalten und solche, bei denen zwar die relative, aber nicht die absolute Atomenanzahl gleich ist; d. h. jene besitzen bei gleicher procentischer Zusammensetzung dasselbe, diese ein verschiedenes Atomengewicht. Erstere nennt man metamerische (von μετὰ, in derselben Bedeutung genommen wie in Metamorphose), letztere polymerische (von πολὺς, viel) Körper. Aus der großen Zahl dieser Verbindungen führen wir als Beispiele für die Metamerie folgende an: Propionsäurehydrat ($C^6 H^5 O^3 + HO$), ameisensaures Aethyloxyd ($C^2 HO^3 + C^4 H^5 O$) und essigsaures Methyloxyd ($C^4 H^3 O^3 + C^2 H^3 O$); alle drei sind also nach der Formel $C^6 H^6 O^4$ zusammengesetzt; Essigsäurehydrat ($C^4 H^3 O^3 + HO$) und ameisensaures Methyloxyd ($C^2 HO^3 + C^2 H^3 O$) besitzen beide die Formel $C^4 H^4 O^4$. In anderen Fällen können wir die verschiedene Gruppirung der Elemente nicht nachweisen, wie z. B. bei der Weinsteinsäure und Traubensäure, die beide nach der Formel $C^8 H^4 O^{10}$ zusammengesetzt sind; bei dem bereits oben angeführten Beispiel von Zucker, Stärkmehl und Dextrin. Solche Verbindungen, deren rationelle Formeln wir noch nicht kennen, bezeichnet man auch wohl als eigentlich

*) Pogg. Ann. Bd. XIX. S. 326.
**) Pogg. Ann. Bd. XXVI. S. 320.

isomere. Repräsentanten der Polymerie sind unter anderen die zahlreichen Kohlenwasserstoffe; Aldehyd ($C^4H^4O^2$) und essigsaures Aethyloxyd ($C^4H^3O^3 + C^4H^5O$); Methyloxyd (C^2H^3O) und Aethyloxydhydrat ($C^4H^5O + HO$) und von den sparsamen Beispielen aus der unorganischen Chemie führen wir die unterschweflige Säure (S^2O^2) und die Pentathionsäure (S^5O^5) an. Vielleicht aber sind auch die oben als Modificationen bezeichneten unorganischen Verbindungen hierher zu rechnen; eine Entscheidung wird jedoch sehr schwer halten. Für diese unorganischen Verbindungen hat Berzelius später eine eigene Art der Isomerie angenommen. Man hat nämlich gefunden, daß auch die einfachen Körper, die Elemente, in verschiedenen Modificationen auftreten (Allotropie — von ἄλλος, anders, und τροπή, Wendung, Veränderung). — Wir erinnern hier nur an Schwefel, Kohlenstoff, Phosphor, Kiesel. Die Isomerie der unorganischen Verbindungen soll in der Allotropie der Elemente ihren Grund haben.

Aus dem Gesagten geht hervor, daß die Isomerie im Allgemeinen auf sehr schwachen Füßen steht, so weit es die Modificationen und die isomeren Körper im engeren Sinne betrifft, die unfehlbar bei Erweiterung unserer Kenntnisse eine andere Stelle einnehmen werden. Metamerie und Polymerie hingegen existiren unzweifelhaft. W. B.

Isomorphismus (von ἴσος, gleich, und μορφή, Gestalt). Die von Mitscherlich begründete Lehre vom Isomorphismus ist der erste wichtige Schritt zur Entwickelung der Gesetze, welche zwischen der äußeren Gestalt der natürlichen Körper, der Krystallgestalt und deren chemischer Constitution bestehen, indem sie unwiderleglich bewies, daß es Stoffe von verschiedener chemischer Beschaffenheit, aber gleicher atomistischer Zusammensetzung und Krystallgestalt giebt, welche einander in ihren Verbindungen, im Verhältniß ihrer Aequivalente, vertreten können, ohne daß die Krystallform der betreffenden chemischen Verbindung dadurch sich wesentlich ändert. Einzelne Forscher hatten wohl früher schon einen Zusammenhang in dieser Hinsicht geahnt, wie Werner, Leblanc, Vauquelin, Berthier, Bertholle t, Gay-Lussac*) u. A., wogegen Hauy den Satz aufgestellt hatte: jede Verschiedenheit der Zusammensetzung bedinge auch eine Aenderung der Krystallgestalt. Die vereinzelten Beobachtungen, auf welche Jene fußten, gestatteten jedoch keineswegs die Annahme allgemeiner Gesetze und erst Mitscherlich**) gelang es durch seine mühevollen und umfänglichen Arbeiten, in denen er eine große Anzahl schlagender Beispiele auffand, die Lehre vom Isomorphismus zur wissenschaftlichen Geltung zu bringen. Er bewies, daß Phosphorsäure und Arsensäure bei gleichem Wassergehalte und Sättigungsgrade mit derselben Basis isomorphe Salze bilden, desgleichen Schwefelsäure, Selensäure, Mangansäure und Chromsäure, Ueberchlorsäure und Uebermangansäure, woraus er denn schloß, daß Phosphorsäure und Arsensäure, Schwefelsäure, Selensäure, Mangan- und Chromsäure, Ueberchlor- und Uebermangansäure, je eine Gruppe von isomorphen Säuren bilden. Thonerde, Eisenoxyd und Chromoxyd krystalliren

*) Kopp, Geschichte d. Chemie. Bd. II. S. 405.

**) Die wichtigsten Arbeiten Mitscherlich's findet man: Ann. de Chim. et de Phys. T. XIV. p. 172; T. XIX. p. 350; T. XXIV. p. 264 u. 355. Pogg. Ann. Bd. XII. S. 137; Bd. XXV. S. 300; Bd. XLIX. S. 401.

in Rhomboëdern von faſt völlig gleichen Dimenſionen, ſie ſind daher *iſomorphe Baſen*; ferner ſind Kalkerde, Talkerde, Eiſen-, Manganoxydul, Zinkoxyd iſomorphe Baſen, weil ſie in ihren Verbindungen mit derſelben Säure (und demſelben Waſſergehalt) ſehr nahe dieſelben Kryſtallformen zeigen; aus demſelben Grunde gelten Baryt, Strontian und Bleioxyd für iſomorph. Wir führen in Folgendem nur einige der Ergebniſſe an, welche *Mitſcherlich's* und Anderer Unterſuchungen zu Tage gefördert haben, indem wir auf ein vollſtändiges Verzeichniß der hierher gehörigen Thatſachen in *Gmelin*, Handbuch. Bd. I. S. 84 verweiſen.

I. Gleich kryſtalliſirende Körper des *Teſſeralſyſtems*.

*) a) Diamant, Phosphor, Kalium, Natrium, Titan, Kadmium, Blei, Eiſen, Kupfer, Silber, Gold, Platin, Iridium, Zinn, Palladium, Zink.

b) K Cl K J K Br. K F K Cy Ni As (Arſenikkickel)
Na Cl Na J Na Br. Na F Na Cy
L Cl Zn J Ca F (K Cy + Ag Cy)
NH_4 Cl NH_4 Cy
Ag Cl

c) Cu_2 O, Cu_2 S, Cu_2 Cl.

d) As O_3 — Sb O_3

e) MgO, Al_2 O_3 (Spinell); MgO, FeO, Al_2 O_3 (Pleonaſt); MgO, Fe_2 O_3 (Chloroſpinell); ZnO, Al_2 O_3 (Gahnit); ZnO, Fe_2 O_3 (Franklinit); FeO, Fe_2 O_3 (Magneteiſen); FeO, Fe_2 O_3 (Chromeiſen).

f) BaO, NO_5; SrO, NO_5; PbO, NO_5 (*Berzelius*).

g) Die ſogenannten Alaune nach der Formel: MO, SO_3 + M_2 O_3, SO_3 + 24 HO, in welchen MO und M_2 O_3 vertreten

$$MO = \begin{cases} KO \\ NaO \\ NH_4\ O \\ LO \end{cases} \qquad M_2\ O_3 = \begin{cases} Al_2\ O_3. \\ Fe_2\ O_3. \\ Cr_2\ O_3. \\ Mn_2\ O_3. \end{cases}$$

Tetragonal-Syſtem.

II. NiO, SO_3 + 7 HO.
NiO, SeO_3 + 7 HO.
ZnO, SeO_3 + 7 HO.

III. KO, PO_5 + 2 HO.
KO, AsO_5 + 2 HO.
NH_4 O, PO_5 + 2 HO.
NH_4 O, AsO_5 + 2 HO.

IV. CaO, WO_3 (Tungſtein).
PbO, WO_3 (Scheelbleierz).
PbO, MoO_3 (Gelbbleierz).
PbO, CrO_3.

Rhombiſches Syſtem.

V. As O_3.
Sb O_3.

VI. a) CaO, CO_2 (Arragonit).
BaO, CO_2 (Witherit).
SrO, CO_2 (Strontianit).

VII. a) BaO, SO_3 (Schwerſpath).
SrO, SO_3 (Cöleſtin).
PbO, SO_3 (Bleivitriol).

*) Die mit a, b, c, bezeichneten Abtheilungen enthalten Körper von gleicher atomiſtiſcher Conſtitution; die Zahlen I., II. ꝛc. umfaſſen Verbindungen von gleicher Kryſtallform.

PbO, CO_2 (Weißbleierz).
FeO, CO_2 (Junkerit).
b) KO, NO_5.

b) KO, $Cl\ O_7$.
KO, $Mn_2\ O_7$.
$NH_4\ O$, $Cl\ O_7$.
$NH_4\ O$, $Mn_2\ O_7$.

VIII. a) KO, SO_3.
KO, SeO_3.
KO, CrO_3.
KO, $Mn_2\ O_7$.
b) $NH_4\ O$, SO_3 + HO.

IX. a) MgO, SO_3 + 7 HO.
ZnO, SO_3 + 7 HO.
NiO, SO_3 + 7 HO.
MgO, SeO_3 + 7 HO.
ZnO, SeO_3 + 7 HO.
b) Sb S_3.
Ao S_3.

X. NaO, PO_5 + 4 HO.
NaO, AsO_5 + 4 HO.

Monoklinoëdrisches System.

XI. CaO, SO_3 + 2 HO.
CaO, SeO_3 + 2 HO.
FeO, SO_3 + 2 HO.

XII. MgO, SO_3 + 7 HO.
ZnO, SO_3 + 7 HO.
CoO, SO_3 + 7 HO.
NiO, SO_3 + 7 HO.
FeO, SO_3 + 7 HO.
MgO, SeO_3 + 7 HO.
CoO, SeO_3 + 7 HO.

XIII. FeO, SO_3 + 6 HO.
CoO, SO_3 + 6 HO.
MnO, SO_3 + 6 HO.
CoO, SeO_3 + 6 HO.

Triklinoëdrisches System.

XIV. MnO, SO_3 + 4 HO.
MnO, SeO_3 + 4 HO.
ZnO, SeO_3 + 4 HO.
CoO, SeO_3 + 4 HO.

XV. CuO, SO_3 + 5 HO.
CuO, SeO_3 + 5 HO.
MnO, SeO_3 + 5 HO.

Hexagonalsystem.

XVI. Arsenik.
Antimon.
Tellur.
Osmium.
Iridium.
Palladium.
Wismuth.

XVII. a) CaO, CO_2 (Kalkspath).
MgO, CO_2 (Talkspath).
CaO, CO_2 + MgO, CO_2 (Dolomit).
MnO, CO_2 (Manganspath).
ZnO, CO_2 (Zinkspath).
FeO, CO_2 (Spatheisenstein).
b) NaO, NO_5.
KO, NO_5.

XVIII. $Al_2\ O_3$.
$Fe_2\ O_3$.
$Cr_2\ O_3$.
$Ti_2\ O_3$.

Körper, welche in mehreren isomorphen Gruppen auftreten, sind dimorph oder trimorph.

Eine vollkommene Uebereinstimmung der Krystallformen chemisch verschiedener Stoffe kommt nur bei Körpern vor, welche im Tesseralsystem krystallisiren; der Isomorphismus ist hier jedoch von geringerem Interesse, weil es für die tesseralen Krystallreihen keine Dimensionsverschiedenheiten giebt. In den einaxigen Krystallsystemen, deren Reihen durch eine Dimensionsverschiedenheit der Grundform getrennt werden, kann nur dann ein Isomorphismus stattfinden, wenn die Grunddimensionen, wo nicht genau, so doch sehr nahe dasselbe Verhältniß zeigen;

man findet aber in diesen Systemen meist keine absolute Identität der Form mit völlig gleichen Dimensionen, sondern nur eine sehr große Aehnlichkeit der Form mit beinahe gleichen Dimensionen. Folgendes Beispiel wird dies erläutern; die Verbindungen der Gruppe XVII. krystallisiren in Rhomboëdern, deren Endkantenwinkel folgende sind:

Kalkspath . . .	105° 5′
Dolomit	106° 15′
Manganspath . . .	106° 51′
Eisenspath . . .	107° 0′
Talkspath	107° 25′
Zinkspath	107° 40′

Eine vollkommene Identität der Form setzt aber nicht blos gleiche äußere Gestalt voraus, sondern auch eine vollkommen gleiche Anordnung der einzelnen Theilchen, welche sich unter anderem auch in der Spaltbarkeit der Krystalle (Richtung der Blätterdurchgänge) zu erkennen geben muß. Der Flußspath — Ca F — aber z. B., welcher mit Steinsalz Na Cl gleiche Krystallform besitzt, spaltet nach den Flächen des Octaëders, das Steinsalz aber nach den Flächen des Würfels. Ein Isomorphismus, wie bei Na Cl und K Cl findet demnach hier nicht statt, obgleich Krystallgestalt und stöchiometrische Constitution gleich sind.

Aus der gleichen Krystallform von Verbindungen läßt sich meist auf die Isomorphie gewisser ihrer Bestandtheile schließen. Sind die Verbindungen a + b + c und a + b + d isomorph, so ergiebt sich, daß c und d isomorph sind; auf diesem Wege ist es möglich, den Isomorphismus von Substanzen zu bestimmen, die man für sich nicht krystallisirt erhalten kann und man wird aus den angeführten Beispielen die Isomorphie gewisser Substanzen leicht abzuleiten im Stande sein. — Es giebt jedoch gleichgestaltete Verbindungen, deren chemische Natur so verschieden ist, daß sich die Gleichheit der Gestalt nicht durch die Ersetzung eines Bestandtheils durch einen anderen ableiten läßt; einige dieser Verbindungen sind folgende.

1. PbO, NO_3.
   PbO, NO_5.

2. a) CaO, CO_2 (Arragonit).
   KO, NO_5.
   b) NaO, NO_5.
   CaO, CO_2 (Kalkspath).

3. BaO, SO_3.
   KO, ClO_7.
   $KO, Mn_2 O_7$.

4. $KO, Al_2 O_3, 4 Si O_2$ (Leucit).
   $NaO, Al_2 O_3, 4 Si O_2 + 2$ aq. (Analcim).

5. $Ti O$ (Anatas).
   $KO, 8 CaO, 15 Si O_2 + 16$ aq. (Apophyllit).

Man hat es versucht, in diesen Fällen die gleiche Gestalt und verschiedene chemische Constitution dennoch mit einander in Einklang zu bringen, ohne jedoch bis jetzt zu festen Ansichten gelangt zu sein *).

Die isomorphen Körper derselben Gruppe können, — und darin spricht sich die Isomorphie am deutlichsten aus, — einander theilweise ersetzen, d. h. es können mehrere derselben in demselben Krystallindividuum zugleich auftreten, ohne daß die Krystallform eine wesentlich andere wird, als wenn nur einer dieser

*) Graf Schaffgotsch in Pogg. Ann. Bd. XLVIII. S. 335. Nickles im Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLV. S. 374.

Körper in der Verbindung vorhanden wäre. Beispiele dieser Art liefern viele künstlich dargestellte Verbindungen und viele Mineralien; in einem Alaunkrystall kann z. B. die Base KO durch NaO und NH_4O, die Base K_2O_3 durch Fe_2O_3, Al_2O_3, Cr_2O_3 zugleich vertreten sein; in vielen Mineralien ist die Basis KO durch MgO, FeO, CaO, MgO zugleich vertreten. Aus diesem Grunde ist es möglich geworden, für solche Minralien einfache, chemische Formeln aufzustellen. Isomorphe Salze können in mannichfaltigem Verhältniß mit einander krystallisiren; es stehen aber bei sehr verschiedenem Löslichkeitsverhältniß derselben, die Mengen, in welchen sie zusammentreten, im Verhältniß zur Löslichkeit *).

Eine andere bedeutungsvolle Erscheinung, auf die Kopp und Schröder **) zuerst hingewiesen haben, ist, daß isomorphe Substanzen ähnliche Atomvolume und gleiche Atomzahlen haben. Das Atomvolumen drückt die relative Größe verschiedenartiger Stoffe und die Atomzahl die relative Anzahl der Atome verschiedenartiger Substanzen in gleichem Raume aus; jenes wird durch die Quotienten der specif. Gew. in die Atomgewichte, diese durch die Quotienten des At. Gewichts in das specif. Gew. der Substanzen ausgedrückt. Man findet z. B. die Atomvolumina Eisen, Mn, Ni, Co, Cu = 44; Pt, Pa, Os, Jr. Rhodium = 57, Zink 58, Titan 56; Silber = 130, Gold = 128; Brom = 326, Chlor = 320, Jod = 320; MgO und CuO = 78; SbO_3 = 331, AsO_3 = 332; Chromoxyd-Kali-Alaun = 3380, Thonerde-Kali-Alaun, Thonerde-Ammoniak-Alaun, Eisenoxyd-Ammoniak-Alaun = 3472. Dagegen giebt es eine nicht geringe Anzahl von isomorphen Substanzen, deren Atomvolume ganz und gar verschieden sind, wovon einige aber ein einfaches multiples Verhältniß zeigen (Natrium und Kalium verhalten sich wie 1 : 2; Arsenik zu Antimon wie 2 : 3; Natron und Silberoxyd wie 3 : 4). Kopp ***) hat es wahrscheinlich zu machen gesucht, daß die Differenzen in dem Endkantenwinkel der Rhomboeder der mit dem Kalkspath isomeren Carbonate, mit der verschiedenen Größe der Atomvolume dieser Spathe in einem einfachen Verhältniß stehen. — Es ergiebt sich aus diesen wenigen Angaben hier zur Genüge, daß eine durchgreifende oder allgemeine Regel hieraus nicht abzuleiten ist.

Scheerer ****) nennt die Körper, welche gleiche Krystallform, gleiches Atomvolumen und gleiche stöchiometrische Formel haben, im engeren Sinne isomorphe und bezeichnet die, welche gleiche Krystallgestalt und gleiche Formel, aber ungleiches Atomvolumen, oder bei gleicher Form und gleichem Atomvolumen ungleiche Formel besitzen, als homöomorph oder isomorph im weiteren Sinne.

Scheerer *****) hat ferner an zahlreichen Beispielen aus dem Mineralreich nachgewiesen, daß es noch eine andere Vertretung, als 1 Atom gegen

*) Nach Rammelsberg, Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXII. S. 70. Monheim, Verhandl. d. naturhist. Vereins d. preuß. Rheinlande. IX. Jahrgang.

**) Kopp, Pogg. Ann. Bd. XLVII. S. 133; Bd. LII. S. 243 u. 262. Schröder, Pogg. Ann. Bd. L. S. 552; Bd. LII. S. 269 u. 282.

***) Ann. d. Chem. T. XXXVI. p. 15.

****) Handwörterbuch d. Chemie. Bd. IV. S. 162.

*****) Handwörterbuch d. Chem. Bd. IV. S. 170.

1 Atom gebe, daß 1 Atom auch durch n Atome eines anderen Körpers oder n Atome durch m Atome vertreten werden können. Diese Art des Isomorphismus nennt Scheerer den polymeren Isomorphismus, der es übrigens nur zur Gleichheit und Aehnlichkeit der äußeren Krystallgestalt bringt, niemals zu einer sich bis in das einzelne Atom erstreckenden Form-Uebereinstimmung: es ist also Isomorphismus im weiteren Sinne oder Homöomorphismus. Er hat diese Vertretung zunächst für Wasser und Magnesia in der Weise geltend gemacht, daß 3 Atome Wasser mit 1 Atom Magnesia isomorph sind, und an zahlreichen Mineralspecies, in welchen Wasser und Magnesia (oder mit Magnesia isomorphe Basen) auftreten, nachgewiesen, daß ihre chemische Zusammensetzung eine solche Interpretation gestattet. Zunächst wurde dieselbe für Aspasiolith und Cordierit erwiesen; diese Mineralien haben gleiche Krystallform und man hat Krystalle gefunden, welche zum Theil aus Cordierit und Aspasiolith bestehen; beide enthalten gleiche Mengen Thonerde und Kieselsäure, der Aspasiolith aber enthält eine geringere Menge Magnesia und eine größere Menge Wasser als Cordierit und aus dieser Differenz lassen sich in dem ersteren 3 At. Wasser als Aequivalent von 1 At. Magnesia ansehen. Auch erwies Scheerer die, schon von Bonsdorff ausgesprochene, isomorphe Vertretung von 3 At. $Si\,O_3$ durch 2 At. $Al_2\,O_3$. Vermöge der Annahme einer solchen Vertretung läßt sich für viele Mineralien eine einfache stöchiometrische Formel aufstellen, deren Zusammensetzung sonst nur durch sehr verwickelte Formeln ausgedrückt werden kann *). — Gegen diese Annahmen Scheerer's sind von verschiedenen Seiten Bedenken erhoben worden, wie von Haidinger, Naumann **), Rammelsberg ***), Bischof, welche namentlich darin übereinstimmen, daß sie den Wassergehalt des Aspasioliths nicht für ursprünglich halten, sondern in diesem Mineral Afterkrystalle nach Cordierit erblicken. In Bezug auf Thonerde und Kieselerde wird nach Naumann der polymere Isomorphismus auf den gewöhnlichen reducirt, sobald man in der Kieselerde nur 2 At. Sauerstoff annimmt; es möchte daher, nach demselben, die gegenseitige Vertretung jener beiden Erden wohl eher als ein Beweis für die Richtigkeit dieser Ansicht von der Zusammensetzung der Kieselerde, denn als ein Beweis für die Wirklichkeit des polymeren Isomorphismus zu betrachten sein. — Die erwähnten Bedenken hat Scheerer (in Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLIII. S. 10: auch Poggend. Ann. Bd. LXX. S. 411, 545; Bd. LXXI. S. 285, 445; Bd. LXXXIV. S. 321) als unbegründet dargestellt und die Existenz des polymeren Isomorphismus an anderen Beispielen, auch aus der organischen Chemie, zum höchsten Grade der Wahrscheinlichkeit erhoben. H. Rt.

Isothermen (v. d. griech. *ἴσος*, gleich und *θερμός*, warm), Isothermische Linien sind Linien (Curven), welche Orte gleicher mittlerer jährlicher Temperatur verbinden.

A. v. Humboldt ****) war der Erste, welcher die Punkte der Erdober-

*) Handwörterbuch d. Chem. Bd. IV. S. 180.

**) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XL. S. 1.

***) Handwörterbuch d. Mineralogie, 3. Suppl. Bd. VII. S. 20. 109.

****) Sur les lignes isothermes in den Mémoires de physique et de chimie de la Société d'Arcueil. T. III. Paris 1817. p. 462—602; Humboldt's kleinere Schriften, Stuttgart und Tübingen 1853. S. 206—314.

fläche mit einander durch Linien verband, an welchen die mittleren Temperaturen des Jahres übereinstimmen, und für diese Linien den angegebenen Namen wählte. Es war dies der erste Schritt in die Wärmevertheilung im Luftkreise unseres Planeten einigermaßen Klarheit zu bringen, und angeregt hierdurch ist durch die vereinten Bemühungen vieler Physiker, namentlich durch Dove, diese Hauptgrundlage der vergleichenden Klimatologie schon jetzt zu einer bedeutenden Vollkommenheit gediehen.

Bei allem Beweglichen und Veränderlichen im Raume, sagt A. v. Humboldt, sind mittlere Zahlenwerthe der letzte Zweck, ja der Ausdruck physischer Gesetze; sie zeigen uns das Stetige in dem Wechsel und in der Flucht der Erscheinungen; die Zahlen sind die Mächte des Kosmos. Wenn dies irgend wo Geltung hat, so namentlich bei der Ermittelung der Temperatur der Erdoberfläche. Es stimmt diese im Allgemeinen mit derjenigen der zunächst über ihr befindlichen Luft überein; denn gesetzt auch, daß ein Unterschied stattfände, so würde sich derselbe alsbald durch wechselseitige Mittheilung ausgleichen. Man bestimmt daher die Temperatur der Erdoberfläche gewöhnlich nach der, welche ein über ihr im Schatten befindliches Thermometer angiebt. Ein bedeutender Unterschied findet indessen statt, wenn die Erde gleichzeitig mit der sie berührenden Luft dem directen Einflusse der Sonnenstrahlen ausgesetzt ist; denn in diesem Falle erhitzt sich bekanntlich der dichtere Körper (die Erde) bei weitem stärker, als der dünnere (die Luft). Daher kommt die außerordentliche Hitze des Sandes in Wüsten und sandigen Gegenden, wenn die Sonne ihn unmittelbar bescheint, welche weit größer als die der umgebenden Luft ist.

Die mittlere Temperatur eines Ortes bestimmte man früher im Allgemeinen so, daß man die höchste und niedrigste Temperatur im Laufe eines Jahres suchte, beide addirte und durch 2 dividirte. Dieses Verfahren ist unsicher, weil dabei auf Extreme Rücksicht genommen wird, welche am weitesten und unregelmäßig entfernt von derjenigen Temperatur liegen, welche wirklich die mittlere ist. Jetzt nennt man die mittlere Temperatur des Jahres das arithmetische Mittel aus den mittleren Temperaturen der 12 Monate; die mittlere Temperatur eines Monates aber ist das arithmetische Mittel aus den mittleren Temperaturen aller Tage des Monats, und die mittlere Temperatur eines Tages endlich ist die Summe der Resultate einer Anzahl von im Laufe eines Tages gemachten Beobachtungen, dividirt durch die Anzahl dieser Beobachtungen. Es kommt also bei Ermittelung der mittleren Jahrestemperatur zunächst auf die Ermittelung der mittleren Tagestemperaturen an.

Wollte man die mittleren Tagestemperaturen für einen Ort genau gewinnen, so müßte man in möglichst kurzen Zwischenräumen, etwa von Stunde zu Stunde, ein unter den erforderlichen Vorsichtsmaßregeln aufgestelltes Thermometer (s. Art. Thermometer) beobachten. Es ist an sich klar, daß eine einzelne Person Beobachtungen dieser Art längere Zeit anzustellen außer Stande ist; es würden sich mithin mehrere Personen für einen solchen Zweck vereinigen müssen. Ungeachtet der Umständlichkeit darartiger Beobachtungen sind sie dennoch ausgeführt. Chiminello *) lieferte zuerst eine Beobachtungsreihe von Padua, welche

*) Saggi scientifici di Padova. Pad. 1786. T. I. p. 195, 208. Toaldo Saggio meteorol. Ediz. sec. Pad. 1781. p. 11. Ephemerides Soc. Meteorol. Palat. 1789. p. 384.

16 Monate umfaßt; noch größeren Umfang haben die auf Brewſter's Veranlaſſung auf Fort Leith bei Edinburg von den Wache haltenden Officieren angeſtellten *); eben ſo beſitzen wir ſolche von Capitän Roß zu Boothia vom October 1829 bis März 1832 **); von einer ruſſiſchen Expedition auf Novaja Semlja in der kariſchen Pforte und zu Matotſchkin-Schar, beide von Bär in Tabellen gebracht ***); von Kupffer in Petersburg aus den Jahren 1831 u. 1832 ****); beſonders reichhaltig iſt aber das Material geworden ſeit Stiftung der magnetiſchen Obſervatorien, indem auf dieſen die meteorologiſchen Inſtrumente überhaupt ſorgfältig beobachtet zu werden pflegen. So giebt Kupffer z. B. den Stand des Thermometers für Petersburg nach Beobachtungen von Stunde zu Stunde, Tag und Nacht, angeſtellt während eines ſechsjährigen Zeitraums ſeit dem Jahre 1841 *****). Folgende Tabelle enthält dieſe zuletzt erwähnten Ergebniſſe nach Petersburger Zeit:

---

*) Edinb. Journ. of Science. No. IX. Junius 1826. p. 18.

**) Dove, Repertorium der Phyſik. Bd. III. S. 352; vergl. überhaupt S. 341 ff.

***) Bulletin scientifique de l'Acad. des Sc. de St. Petersbourg 1837. T. II. No. 20. Pogg. Ann. Bd. XLIII. S. 336.

****) Pogg. Ann. Bd. XXX. S. 324.

*****) Pogg. Ann. Bd. LXXVII. S. 357; aus: Bullet. de la Classe phys. math. de l'acad. de St. Petersbourg. T. VII.

	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Septbr.	Octbr.	Novbr.	Decbr.	Mittel.
Mitternacht	— 5°,6	— 7°,3	— 4°,9	— 0°,8	+ 5°,1	+ 9°,6	+ 11°,7	+ 11°,9	+ 7°,1	+ 2°,9	— 1°,6	— 3°,0	+ 2°,1
1	— 5,6	— 7,3	— 5,2	— 1,0	+ 4,7	+ 9,3	+ 11,4	+ 11,5	+ 6,9	+ 2,8	— 1,6	— 3,0	+ 1,9
2	— 5,6	— 7,4	— 5,4	— 1,2	+ 4,5	+ 9,0	+ 11,2	+ 11,3	+ 6,7	+ 2,7	— 1,6	— 3,1	+ 1,7
3	— 5,7	— 7,4	— 5,6	— 1,4	+ 4,3	+ 8,7	+ 11,0	+ 11,0	+ 6,5	+ 2,6	— 1,6	— 3,1	+ 1,6
4	— 5,7	— 7,5	— 5,8	— 1,6	+ 4,2	+ 8,9	+ 10,9	+ 10,8	+ 6,4	+ 2,6	— 1,7	— 3,2	+ 1,5
5	— 5,8	— 7,6	— 5,9	— 1,6	+ 4,6	+ 9,3	+ 11,2	+ 10,9	+ 6,3	+ 2,5	— 1,8	— 3,2	+ 1,6
6	— 5,9	— 7,6	— 6,0	— 1,4	+ 5,2	+ 10,0	+ 11,7	+ 11,3	+ 6,3	+ 2,5	— 1,8	— 3,2	+ 1,8
7	— 5,9	— 7,7	— 5,9	— 0,8	+ 6,0	+ 10,7	+ 12,5	+ 11,9	+ 6,6	+ 2,5	— 1,8	— 3,1	+ 2,1
8	— 5,9	— 7,6	— 5,6	— 0,2	+ 6,8	+ 11,4	+ 13,1	+ 12,8	+ 7,2	+ 2,7	— 1,8	— 3,1	+ 2,5
9	— 5,9	— 7,3	— 4,9	+ 0,5	+ 7,6	+ 12,1	+ 13,8	+ 13,6	+ 8,0	+ 3,0	— 1,6	— 3,1	+ 3,0
10	— 5,7	— 7,0	— 4,3	+ 1,3	+ 8,3	+ 12,7	+ 14,4	+ 14,3	+ 8,7	+ 3,5	— 1,5	— 3,0	+ 3,5
11	— 5,5	— 6,6	— 3,6	+ 1,9	+ 9,0	+ 13,2	+ 14,9	+ 15,0	+ 9,3	+ 3,9	— 1,3	— 2,8	+ 4,0
Mittag	— 5,3	— 6,2	— 3,0	+ 2,4	+ 9,4	+ 13,7	+ 15,2	+ 15,5	+ 9,8	+ 4,3	— 1,1	— 2,7	+ 4,3
1	— 5,1	— 6,0	— 2,6	+ 2,7	+ 9,6	+ 13,9	+ 15,5	+ 15,9	+ 10,4	+ 4,6	— 0,9	— 2,5	+ 4,7
2	— 5,0	— 5,9	— 2,3	+ 2,9	+ 9,8	+ 14,1	+ 15,6	+ 16,2	+ 10,6	+ 4,8	— 0,6	— 2,5	+ 4,8
3	— 5,1	— 5,9	— 2,2	+ 3,0	+ 10,0	+ 14,3	+ 15,7	+ 16,3	+ 10,6	+ 4,6	— 0,8	— 2,5	+ 4,8
4	— 5,3	— 6,0	— 2,2	+ 3,2	+ 10,2	+ 14,6	+ 15,9	+ 16,5	+ 10,6	+ 4,4	— 1,2	— 2,6	+ 4,8
5	— 5,4	— 6,4	— 2,5	+ 3,2	+ 10,0	+ 14,4	+ 15,8	+ 16,4	+ 10,2	+ 4,1	— 1,3	— 2,7	+ 4,6
6	— 5,4	— 6,7	— 3,0	+ 2,3	+ 9,3	+ 13,6	+ 15,1	+ 15,4	+ 9,5	+ 3,8	— 1,4	— 2,8	+ 4,1
7	— 5,5	— 6,8	— 3,5	+ 1,5	+ 8,3	+ 12,7	+ 14,3	+ 14,5	+ 8,7	+ 3,6	— 1,5	— 2,8	+ 3,6
8	— 5,5	— 6,9	— 3,8	+ 0,8	+ 7,4	+ 11,9	+ 13,6	+ 13,7	+ 8,2	+ 3,4	— 1,5	— 2,9	+ 3,2
9	— 5,5	— 7,0	— 4,1	+ 0,3	+ 6,6	+ 11,1	+ 12,9	+ 13,0	+ 7,9	+ 3,3	— 1,6	— 2,9	+ 2,8
10	— 5,5	— 7,1	— 4,4	— 0,1	+ 6,1	+ 10,5	+ 12,4	+ 12,6	+ 7,6	+ 3,1	— 1,6	— 2,9	+ 2,6
11	— 5,5	— 7,2	— 4,7	— 0,5	+ 5,5	+ 10,0	+ 12,0	+ 12,2	+ 7,3	+ 3,0	— 1,6	— 2,9	+ 2,3
Mittel	— 5,5	— 6,9	— 4,2	+ 0,6	+ 7,2	+ 11,7	+ 13,4	+ 13,5	+ 8,2	+ 3,4	— 1,4	— 3,0	+ 3,08

Eine Uebersicht von dem mittleren Gange der täglichen Wärme zu Padua und im Fort Leith für alle Monate und Tageszeiten während des ganzen Jahres geben folgende beide Tabellen:

Mittlerer Gang der täglichen Wärme zu Padua (n. Br. 45° 24').

Grade nach Celsius.

Stunde	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	October	Novbr.	Decbr.	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Jahr
Mitternacht	3°,25	4°,28	6°,83	11°,97	17°,44	19°,31	23°,02	20°,00	16°,68	13°,94	6°,56	2°,97	3°,50	12°,08	20°,78	12°,39	12°,19
1	2,98	4,18	6,62	11,49	16,93	19,17	22,49	19,95	16,39	13,85	6,43	2,80	3,32	11,68	20,54	12,22	11,94
2	2,98	3,88	6,23	11,17	16,60	18,93	22,06	19,42	16,07	13,63	6,28	2,64	3,17	11,33	20,14	11,99	11,66
3	2,76	3,68	5,96	10,95	16,22	18,58	21,65	18,98	15,76	13,42	6,15	2,61	3,02	11,04	19,74	11,78	11,39
4	2,72	3,48	5,63	10,57	16,05	18,54	21,34	18,49	15,46	13,18	6,04	2,53	2,91	10,75	19,46	11,56	11,17
5	2,38	3,25	5,37	10,20	16,26	18,94	21,89	18,49	15,05	12,94	5,95	2,44	2,69	10,61	19,77	11,31	11,10
6	2,30	3,06	5,16	10,25	17,52	20,40	23,47	19,13	15,20	13,00	5,87	2,39	2,58	10,98	21,00	11,36	11,48
7	2,15	2,91	5,40	10,76	19,14	21,83	25,36	20,52	16,15	13,21	5,75	2,30	2,45	11,77	22,57	11,70	12,12
8	2,37	3,12	6,91	11,74	20,26	22,74	26,37	22,06	17,39	13,91	6,52	2,59	2,69	12,97	23,72	12,61	12,99
9	2,84	3,86	6,97	12,80	21,31	23,48	28,10	24,85	19,11	14,69	7,70	3,43	3,38	13,69	25,48	13,83	14,09
10	3,58	4,99	8,77	13,56	22,09	24,00	28,92	25,17	19,67	15,56	8,74	4,16	4,24	14,80	26,03	14,66	14,93
11	4,43	5,67	8,82	14,09	22,85	24,72	29,52	25,76	20,33	16,16	9,62	5,15	5,08	15,25	26,67	15,37	15,59
Mittag	4,94	6,44	9,38	14,62	23,39	25,08	30,01	26,50	21,06	16,68	10,25	5,71	5,70	15,80	27,20	16,00	16,17
1	5,44	6,70	9,66	15,13	23,57	25,19	30,47	26,97	21,56	17,10	10,75	6,21	6,12	16,12	27,54	16,47	16,56
2	5,60	6,91	9,91	15,43	23,65	25,21	30,73	27,45	21,93	17,43	10,92	6,41	6,31	16,33	27,79	16,76	16,79
3	5,52	6,95	10,10	15,70	23,65	25,17	30,48	27,55	21,97	17,47	10,80	5,94	6,14	16,48	27,73	16,65	16,75
4	5,19	6,56	9,87	15,65	23,31	24,68	29,59	26,83	21,35	17,34	9,64	5,27	5,67	16,28	27,03	16,11	16,27
5	4,80	6,11	9,47	15,50	22,57	23,93	29,11	25,90	20,38	16,23	8,64	4,76	5,22	15,85	26,31	15,08	15,61
6	4,45	5,88	9,01	14,92	21,47	23,18	27,82	24,46	19,42	15,60	7,92	4,25	4,86	15,13	25,15	14,31	14,86
7	4,11	5,67	8,64	14,43	20,29	22,08	26,64	23,19	18,60	15,09	7,50	4,03	4,60	14,45	23,97	13,76	14,19
8	3,80	5,42	8,27	13,62	20,14	21,45	24,80	22,17	18,50	14,86	7,32	3,79	4,34	14,01	22,81	13,56	13,68
9	3,65	5,07	7,86	13,17	18,58	20,21	24,14	21,53	18,09	14,59	7,12	3,52	4,06	13,20	21,96	13,27	13,12
10	3,49	4,78	7,43	12,69	18,17	19,78	23,97	21,09	17,65	14,27	6,83	3,26	3,84	12,76	21,61	12,92	12,78
11	3,35	4,50	7,13	12,28	17,78	19,61	23,39	20,57	17,33	14,07	6,66	3,10	3,65	12,40	21,19	12,69	12,48
Mittel	3,71	4,89	7,73	13,03	19,97	21,93	26,06	22,79	18,38	14,92	7,73	3,84	4,15	13,57	23,59	13,68	13,75

Mittlerer Gang der täglichen Wärme im Fort Leith (n. Br. 55° 59').

Grade nach Celsius.

Stunde	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	October	Novbr.	Decbr.	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Jahr
Mitternacht	4°,79	4°,18	4°,04	6°,34	8°,62	11°,77	13°,79	13°,06	12°,20	8°,71	4°,28	3°,93	4°,30	6°,35	12°,87	8°,42	8°,00
1	4,79	4,26	3,86	6,16	8,22	11,44	13,43	12,96	12,13	8,93	4,37	3,86	4,30	6,08	12,61	8,47	7,85
2	4,66	4,31	3,74	5,65	7,99	11,25	13,33	12,82	12,00	8,88	4,22	3,90	4,29	5,80	12,46	8,36	7,74
3	4,62	4,32	3,50	5,29	7,71	11,18	13,11	12,66	11,72	8,82	4,30	3,92	4,28	5,50	12,31	8,28	7,60
4	4,48	4,22	3,40	4,88	7,46	11,05	12,86	12,54	11,51	8,80	4,26	3,87	4,18	5,21	12,15	8,19	7,47
5	4,41	4,09	3,31	4,78	7,33	11,07	13,15	12,57	11,44	8,64	4,31	3,84	4,11	5,20	12,26	8,13	7,44
6	4,41	4,02	3,29	4,85	7,96	11,57	13,73	12,79	11,59	8,44	4,36	3,93	4,12	5,35	12,70	8,12	7,58
7	4,46	4,05	3,47	5,90	8,44	12,01	14,38	13,35	12,02	8,64	4,48	3,89	4,13	5,93	13,24	8,38	7,93
8	4,51	4,04	3,84	6,62	9,14	12,65	15,06	14,00	12,73	9,00	4,50	3,96	4,16	6,53	13,90	8,74	8,35
9	4,66	4,31	4,39	7,98	9,85	13,36	15,83	14,88	13,62	9,37	4,76	4,09	4,35	7,39	14,70	9,25	8,92
10	4,91	4,78	4,74	8,94	10,50	13,98	16,46	15,30	14,15	10,00	5,26	4,27	4,63	8,06	15,24	9,80	9,45
11	5,19	5,28	5,31	9,50	11,02	14,53	16,95	15,72	14,77	10,49	5,81	4,73	5,06	8,67	15,73	10,36	9,97
Mittag	5,57	5,68	6,29	10,01	11,43	14,81	17,69	16,26	15,28	10,85	6,16	5,00	5,41	9,24	16,25	10,76	10,43
1	5,79	5,99	6,49	10,25	11,77	15,01	17,74	16,51	15,72	11,09	6,35	5,10	5,62	9,50	16,65	11,05	10,67
2	5,88	5,98	6,67	10,45	12,01	15,39	17,96	16,62	15,91	11,12	6,30	5,12	5,66	9,71	16,83	11,18	10,82
3	5,89	6,00	6,71	10,66	12,05	15,68	18,13	16,62	15,85	10,96	6,53	4,88	5,60	9,80	16,86	11,11	10,85
4	5,66	5,70	6,69	10,49	12,23	15,45	18,17	16,75	15,52	10,63	6,01	4,72	5,36	9,80	16,84	10,72	10,69
5	5,38	5,27	6,42	10,19	12,15	15,32	18,24	16,69	15,51	10,27	5,64	4,54	5,06	9,58	16,84	10,47	10,48
6	5,25	5,00	6,03	9,96	11,86	15,08	18,15	16,52	14,81	9,86	5,44	4,41	4,88	9,28	16,58	10,04	10,16
7	5,05	4,79	5,49	9,19	11,36	14,66	17,69	15,54	14,08	9,52	5,21	4,16	4,66	8,68	15,96	9,60	9,75
8	4,93	4,87	5,09	8,28	10,56	13,70	16,42	14,83	13,63	9,22	5,04	4,10	4,53	7,97	14,98	9,30	9,24
9	4,88	4,40	4,70	7,62	9,73	12,98	15,46	14,27	13,22	9,14	4,90	4,06	4,44	7,35	14,23	9,09	8,79
10	4,90	4,25	4,41	7,23	9,44	12,21	14,75	13,72	12,85	8,90	4,63	4,03	4,40	7,02	13,56	8,80	8,49
11	4,83	4,19	4,12	6,62	8,97	12,06	14,30	13,36	12,62	8,65	4,61	3,96	4,32	6,87	13,24	8,56	8,22
Mittel	5,00	4,74	4,84	7,83	9,91	13,26	15,70	14,60	13,54	9,54	5,07	4,26	4,66	7,56	14,52	9,38	9,04

Solche Beobachtungsreihen waren wünschenswerth, um durch sie zu einfacheren Beobachtungsmethoden zu gelangen. Auch die auf analytischem Wege von verschiedenen Mathematikern versuchten Lösungen des vorliegenden Problems *) mußten einer auf solche Beobachtungsreihen sich stützenden Probe unterworfen werden. In Betreff dieser theoretischen Resultate, bei denen der Gang der täglichen Temperatur als eine Function der Erwärmung durch die Sonnenstrahlen betrachtet wurde, während für die Nacht der ununterbrochen stattfindende Wärmeverlust durch die Ausstrahlung der Erdoberfläche maßgebend wird, sei nur bemerkt, daß sie zu keinem befriedigenden Resultate geführt haben. Von den einfacheren Beobachtungsmethoden verdienen folgende Beachtung:

1) Man nehme das Mittel aus drei Beobachtungen, von denen die erste beim Aufgange der Sonne, die zweite um 2 Uhr Nachmittags, die dritte bei Untergang der Sonne gemacht worden.

2) Man nehme das Mittel aus dem Maximum und dem Minimum des Thermometerstandes. Dieser Methode, auf welche A. v. Humboldt **) zuerst aufmerksam gemacht hat, bedient man sich auf dem Pariser Observatorium. Ueber den Thermometrographen, den man bei dieser Methode anwendet, verweisen wir auf den Art. Thermometer. Etwa zu den Zeiten zu beobachten, an welchen das Maximum und Minimum der Temperatur zu erwarten ist, kann leicht zu Unrichtigkeiten Veranlassung geben, eben so wie ein Versuch die mittlere Tagestemperatur direct zu beobachten in den Zeiten, zu welchen diese nach Vorausbestimmung ***) eintreten müßte, was allerdings täglich zweimal der Fall sein wird. Hällström ****) und Kämtz *****) haben versucht aus den Angaben des Maximum und Minimum, mit Einführung eines für die einzelnen Monate veränderlichen Coefficienten, die mittlere Temperatur zu berechnen nach der Formel

$$T = m + v \,.\, (M - m),$$

wo m das Minimum, M das Maximum und v den Coefficienten der verschiedenen Monate bezeichnet.

3) Man beobachte das Thermometer in mehreren gleichnamigen Stunden, etwa um 4 Uhr und um 10 Uhr Morgens und um 4 Uhr Nachmittags und 10 Uhr Abends. Nach Brewster erhält man hierdurch das Mittel bis auf $^1/_{10}$ Grad genau.

4) Die Beobachtungsstunden 7 Uhr Morgens, des Mittags und um 10 Uhr Abends liefern ebenfalls ein brauchbares Resultat.

5) An vielen Punkten der nordamerikanischen Freistaaten wird um 7, 2 und 9 Uhr beobachtet, und auch Dove hält diese Stunden für die geeignetsten †). Die Mannheimer meteorologische Gesellschaft hat diese Stunden in Vorschlag gebracht.

---

*) Vergl. Kämtz, Meteorologie. Bd. I. S. 60.
**) Kleinere Schriften. Bd. I. S. 231. Mém. d'Arcueil. T. III.
***) Dove's Repert. Bd. III. S. 379.
****) Pogg. Ann. Bd. IV. S. 373.
*****) Meteorol. Bd. I. S. 97.
†) Pogg. Ann. Bd. LXIX. S. 527.

6) Andere Combinationen sind:

$$\frac{\text{VII} + \text{II} + 2\,.\,\text{IX}}{4}, \quad \frac{\text{VI} + \text{II} + \text{X}}{3}, \quad \frac{\text{VIII} + \text{IX} + \text{VIII} + \text{IX}}{4},$$

$$\frac{\text{VI} + \text{III} + \text{IX}}{3} \text{ u. s. w.}^{*}).$$

7) Die Unbequemlichkeit der frühen Morgenstunden und späten Abendstunden hat neuerdings H. Schlagintweit **) veranlaßt, die Ableitung des Tagesmittels aus dem Maximum, Minimum und der Beobachtung um 9 Uhr Vormittags zu versuchen. Er gelangt zu der Formel:

$$T = 0{,}4\,M + 0{,}5\,m + 0{,}11\,.\,IX,$$

wo M das Maximum, m das Minimum und IX die Beobachtung um 9 Uhr Vormittags bezeichnet. Zugleich stellt sich heraus, daß die Combination $\frac{\text{VI} + \text{II} + \text{X}}{3}$ sich vor den anderen durch günstige Resultate auszeichnet ***).

Aus den so gewonnenen Tagesmitteln würde man nun die Monats- und aus diesen wiederum die Jahresmittel zu berechnen haben. Indessen gelangt man ziemlich zu demselben Resultate, wenn man nach v. Humboldt ****) nur die mittlere Temperatur des Monats April oder October sucht. Die des ersteren ist allerdings etwas zu klein, und die des letzteren etwas zu groß, wie Kämtz nachgewiesen hat; doch ist die Abweichung von dem wahren Jahresmittel nicht sehr bedeutend. Kann man die mittleren Temperaturen beider Monate erhalten, so giebt das Mittel aus beiden eine vollständig ausreichende Annäherung an das wahre Jahresmittel. Folgende Tabelle nach v. Humboldt wird eine Vorstellung geben von der Genauigkeit dieser Methode. Die Mittel aus beiden Monaten sind von dem Verf. dieses Artikels hinzugefügt.

---

*) Die erste Combination rührt von Kämtz her; nach der zweiten werden die unter Dove's Leitung stehenden Beobachtungen in Preußen berechnet; die beiden letzten werden zur Ableitung des Mittels aus den Beobachtungen von St. Bernhard benutzt.

**) Pogg. Ann. Bd. XCII. S. 467; aus: Neue Untersuchungen über die physikalische Geographie und die Geologie der Alpen von A. und H. Schlagintweit, Leipzig 1851.

***) Mahlmann in Dove's Repertorium der Physik Bd. IV. S. 8. liefert 3 Tabellen, welche die Abweichungen von dem wahren täglichen Mittel im jährlichen Durchschnitt angeben und zwar bei Beobachtung des Thermometers nur zu einer, oder zu zwei, oder zu drei und vier Stunden; eben so hat er auf S. 12 bis 19 Tabellen der Abweichungen der einzelnen Stunden für sämmtliche Jahreszeiten berechnet und eben solche für die 2 oder 3 Combinationsstunden folgen lassen. Die letzteren Tabellen beziehen sich auf die Beobachtungsstationen: Boothia Felix, Leith, Salzuflen, Plymouth, Padua, Madras und den stillen Ocean; bei den ersteren findet sich außerdem noch theilweise: Novaja-Semlja, Petersburg, Apenrade und Mühlhausen.

****) Mém. d'Arcueil. T. III. p. 554. Kleinere Schriften. Bd. I. S. 279.

Namen der Orte	Mittlere Temperatur			
	des Jahres	des October	des April	aus April und October
Cairo	22°,4	22°,4	25°,5	23°,95
Algier	21,0	22,3	17,0	19,65
Natchez	18,9	20,2	19,1	19,65
Rom	15,8	16,7	13,0	14,85
Mailand . . .	13,2	14,5	13,1	13,80
Cincinnati . . .	12,0	12,7	13,8	13,25
Philadelphia . .	11,9	12,2	12,0	12,10
New-York . . .	12,1	12,5	9,5	11,00
Peking	12,6	13,0	13,9	13,45
Buda	10,6	11,3	9,5	10,40
London	11,0	11,3	9,9	10,60
Paris	10,6	10,7	9,0	9,85
Genf	9,6	9,6	7,6	8,6
Dublin	9,2	9,3	7,4	8,35
Edinburg . . .	8,8	9,0	8,3	8,65
Göttingen . . .	8,3	8,4	6,9	7,65
Franecker . . .	11,3	12,7	10,0	11,35
Kopenhagen . .	7,6	9,3	5,0	7,15
Stockholm . . .	5,7	5,8	3,6	4,70
Christiania . . .	5,9	4,0	5,9	4,95
Upsala	5,4	6,3	4,3	5,3
Quebeck . . .	5,5	6,0	4,2	5,1
Petersburg . . .	3,8	3,9	2,8	3,35
Abo	5,2	5,0	4,9	4,95
Drontheim . . .	4,4	4,0	1,3	2,65
Ulea	0,6	3,3	1,2	2,25
Umea	0,7	3,2	1,1	2,15
Nordkap . . .	0,0	0,0	— 1,1	— 0,55
Enontekis . . .	— 2,8	— 2,5	— 3,0	— 2,75
Nain	— 3,1	+ 0,6	— 2,5	— 0,95

Eine zweite Methode besteht darin, das Mittel der entsprechenden Temperaturen einer einzigen Stunde des Jahres zu nehmen, für die Breite von Paris 9 Uhr Morgens. Dies zu veranschaulichen diene folgende Tabelle.

Vergleich der wahren Mittel und derer, die sich aus den Beobachtungen um 9 Uhr Morgens für das Pariser Observatorium im Jahre 1829 ergaben.

Monate	Mittlere Temperatur der Monate	Mittlere Temperatur um 9 Uhr Morgens
Januar	— 2°,0	— 2°,6
Februar . . .	+ 2,7	+ 2,6
März	+ 5,7	+ 5,6
April	+ 9,8	+ 11,1
Mai	+ 14,9	+ 16,4
Juni	+ 17,1	+ 19,1
Juli	+ 18,6	+ 19,3
August	+ 17,0	+ 18,3
September . . .	+ 13,7	+ 15,0
October . . .	+ 10,0	+ 9,9
November . . .	+ 4,7	+ 4,2
December . . .	— 3,5	— 4,1
Mittel	+ 9,1	+ 9,6

Die mittlere Temperatur, welche die directe Methode giebt, ist 9°,1; die durch den Monat April gegebene betrüge 9°,8; die durch den Monat October 10°,0 und endlich die aus den Mitteln der Beobachtung um 9 Uhr Morgens 9°,6, welche sich von dem wahren Mittel nur um $^1/_2$ Grad entfernt. Während aber die Beobachtungen um 9 Uhr ein richtiges Jahresmittel geben, entsprechen die aus ihnen abgeleiteten Monatsmittel den wahren nicht, indem sie für die warmen Monate zu hoch, für die kalten zu niedrig sind.

Die erstere Methode ist besonders für Reisende wichtig, weil diese selten Gelegenheit haben, an jedem Orte eine für die Bestimmung der mittleren Jahrestemperatur hinlängliche Anzahl von Beobachtungen zu sammeln. Wir liefern daher noch einige diese Methode bestätigende Resultate.

Namen der Orte	Mittlere Temperatur Jahr	October	April	aus April und October
Padua	13°,7	14°,9	13°,0	13°,95
Leith	9,0	9,5	7,8	8,65
Berlin	9,2	9,8	9,7	9,75

Am glücklichsten hat Kämtz *) die Aufgabe gelöst, aus Beobachtungen,

*) Meteorologie. Bd. I. S. 131 ff.

welche nur über einen oder einige Monate sich erstrecken, die mittlere Jahrestemperatur zu ermitteln; es muß aber an dieser Stelle diese Hinweisung genügen.

Wenn man auch an einem Orte einen Monat lang, z. B. im October, täglich von Stunde zu Stunde Thermometerbeobachtungen macht und aus diesen das Monatsmittel berechnet, so wird dieses Mittel doch nicht übereinstimmen mit demjenigen, welches man für denselben Ort und für denselben Monat in einem anderen Jahre in gleicher Weise ermittelt hat. Eben so verhält es sich mit den Jahresmitteln, indem diese in auf einander folgenden Jahren ebenfalls nicht übereinstimmen, selbst wenn ihnen die ausgedehntesten Beobachtungen zu Grunde lägen.

Erst Perioden, welche gegen 10 Jahre umfassen, stimmen in den Monatsmitteln und Jahresmitteln so überein, daß die Differenz als Null betrachtet werden kann. Dies arithmetische Mittel aus einer größeren Anzahl von Jahresmitteln liefert erst die mittlere Temperatur eines Ortes. Die Jahresmittel differiren übrigens höchstens um 2 Grade unter einander, während in den Monatsmitteln diese Differenz bis auf 9 Grad steigt.

Um die Jahresmittel zu gewinnen, auf deren Kenntniß die Isothermen beruhen, scheint hiernach ein kaum aufzubringendes Opfer an Zeit und Kraft erforderlich, wenn man bedenkt, daß die Bestimmung dieses Mittels einen so großen Zeitraum erheischt und überdies dieselbe von möglichst vielen Punkten der Erdoberfläche wünschenswerth ist. Indessen ist es Dove gelungen, indem er davon ausging, daß die Abweichungen einzelner Jahre nicht ganz local auftreten könnten, einen Weg zu ermitteln, auf welchem die Beobachtungen, welche nur wenige Jahre umfassen, sich so verbessern lassen, daß sie für Mittel längerer Zeiträume gelten können.

In vier Abhandlungen *) wurde für einen Zeitraum von 115 Jahren der thermische Witterungsgang bestimmt. Durch Ermittelung der Abweichungen der Monate der einzelnen Jahre von diesen vieljährigen Mitteln ergab sich, daß alle erheblichen Abweichungen nicht vereinzelt auftreten. Wenn man nun den in allen einzelnen Jahren an bestimmten Stellen vorwaltend gewesenen Witterungscharakter kennt, so wird es möglich die Beobachtungen weniger Jahrgänge eines bestimmten Ortes zu verbessern, indem man aus den Abweichungen einiger Normalstationen, für welche sehr lange Reihen vorhanden sind, den quantitativen Werth der anzubringenden Verbesserungen ermitteln kann. Diese Untersuchung hat Dove für mehrere Stationen, welche für verschiedene Klimate charakteristisch sind, durchgeführt und hierdurch die Verbesserungen berechnet, welche an der Mitteltemperatur irgend einer Tagesstunde der einzelnen Monate und eben so des ganzen Jahres anzubringen sind. Um dies zu veranschaulichen folgen, hier die Verbesserungen in Beziehung auf das Jahresmittel für drei Normalstationen **).

*) Ueber die nicht periodischen Veränderungen der Temperaturvertheilung auf der Oberfläche der Erde, in Abhandl. der Akadem. der Wissensch. zu Berlin, Jahrg. 1838, 1839, 1842 und 1845; auch als besonderes Werk erschienen bei Reimer. Vergl. Dove, Monatsisothermen. Berlin 1849. S. 3; auch Repertorium. Bd. III. S. 391 ff.

**) Abhandl. der Akad. 1846.

	Rio Janeiro	Halle	Nertschinsk
Mitternacht	0°,26	2°,40	2°,42
1	0,69	2,74	2,85
2	1,12	2,94	3,36
3	1,50	2,92	3,80
4	1,70	2,71	4,07
5	1,71	2,27	4,00
6	1,55	1,71	3,40
7	1,24	0,94	2,31
8	0,87	0,02	0,82
9	0,47	— 0,95	— 0,80
10	0,07	— 1,82	— 2,25
11	— 0,34	— 2,57	— 3,46
Mittag	— 0,75	— 3,06	— 4,17
1	— 1,12	— 3,29	— 4,42
2	— 1,40	— 3,20	— 4,35
3	— 1,54	— 2,84	— 3,91
4	— 1,50	— 2,29	— 3,31
5	— 1,32	— 1,65	— 2,54
6	— 1,06	— 1,01	— 1,64
7	— 0,80	— 0,40	— 0,75
8	— 0,60	— 0,22	0,15
9	— 0,41	0,81	0,91
10	— 0,27	1,64	1,45
11	— 0,05	1,94	2,01

Wären z. B. um 7, 2 und 9 Uhr Beobachtungen angestellt, so erhielte man als Verbesserungen

	Rio Janeiro	Halle	Nertschinsk
7.	1,24	0,94	2,31
2.	— 1,40	— 3,20	— 4,35
9.	— 0,41	0,81	0,91
	— 0,57	— 1,45	— 1,13

Bringt man diese Verbesserungen an der Summe der zu diesen Stunden gefundenen Mitteltemperaturen an, so weicht der dritte Theil des Restes von dem Tagesmittel nicht wesentlich ab, und verfährt man mit den Beobachtungen an Orten, welche diesen Normalstationen nahe liegen, in gleicher Weise, so wird man für diese Orte ebenfalls ausreichend genaue Resultate erhalten.

Für die Elimination der täglichen Veränderungen hat Dove von 29 Stationen die nöthigen Tafeln geliefert, und für die der jährlichen von 15 Stationen; außerdem bieten seine Temperaturtafeln die Monatsmittel von fast 1000 Stationen.

Als ein für Reisende besonders schätzbares Mittel für die Bestimmung der mittleren Jahrestemperatur eines Ortes ist hier noch zu erwähnen, daß diese unter gewissen Umständen ermittelt werden kann durch die Temperatur der Quellen, worüber das Nähere im Art. Quelle zu finden ist.

Will man durch die Isothermen eine Einsicht gewinnen in die klimatischen Verhältnisse unseres Erdkörpers, so kann es nicht genügen die Orte gleicher mittlerer Jahrestemperatur ohne weiteres zu verbinden, sondern es muß dabei auch Rücksicht genommen werden auf die Erhebung der Orte über das Meeresniveau. Die Wärme der Luft nimmt ab, wenn wir uns an derselben Stelle in der Atmosphäre höher erheben. Zwei nahe bei einander liegende Orte können daher sehr verschiedene Jahresmittel in ihrer Temperatur zeigen, wenn der eine hoch, der andere niedrig liegt. Die unregelmäßigen Erhebungen der Erdoberfläche würden mithin die Gestalt der Isothermen sehr verwickeln, und daher ist es zweckmäßig erschienen die Temperatur der einzelnen Beobachtungsstationen um so viel zu erhöhen, als die Wärmeabnahme verlangt, welche sie wegen ihrer Erhebung über das Meer erleiden. Die Isothermen werden also auf die Meeresfläche projicirt.

Ueber die Temperaturabnahme mit der Höhe ist bereits Einiges angeführt im Art. Atmosphäre Bd. I. S. 480. Hier sei noch bemerkt, daß man im Mittel für 1 Grad Celsius eine Erhebung von 600 Fuß annimmt, daß mithin für die Tiefebenen in Betreff der Isothermen eine Correction wegen der Erhebung über das Meeresniveau nicht nöthig erscheint. In sofern man dieses Gesetz, welches nur aus Resultaten von Beobachtungen an einigen Punkten abgeleitet ist, als ein allgemeines ansieht, kommt in die Bestimmung der Isothermen durch diese Reduction noch eine gewisse Ungenauigkeit, die allerdings nicht eher verschwinden wird, als bis speciellere Untersuchungen die erforderlichen Data liefern. Ueber die Ermittelung der Ortserhebung handelt Art. Höhenmessung.

Ueber die große Verschiedenheit der Höhen, welche einer Temperaturerniedrigung um 1° C. im jährlichen Mittel entsprechen, theilen wir folgende Resultate mit *). Nach v. Humboldt an Bergen in Süd-Amerika 98', auf Bergebenen und an größeren Bergmassen 128,7'; nach Kämtz in Süd-Deutschland und Nord-Italien zwischen 45 bis 50° Breite und zwischen Wien und Genf 88,6'; am St. Bernhard 103,7' (99,0 nach Gautier); nach Schouw am Süd-Abhange der Alpen 86'; nach Reich in Sachsen 89,4'; für Böhmen giebt Mahlmann 88,2' an; nach Bischof bei Bonn 91', nach Guérin am M. Ventour 90', bei den Apenninen in $43^1/_3$° Br. 95', bei Nicolosi auf dem Abhange des Aetna mehr als 200'; in Großbritannien nach Brisbane und Galbraith, zwischen 55 und 57° Br., 59,7', nach Mahlmann 66', nach Watson, zwischen 53 und 59° Br., 67,3', nach Jameson nur 42,2' (?), nach Playfair 76', nach Atkinson 60', an den Lead-Hills 57,2'; nach Kämtz in Ungarn 57,4' (?), im westl. Sibirien 127', in den (östl.) vereinigten Staaten Nord-Amerikas 114', im südlichen Vorder-Indien 91', im nördlichen 116,5', in Süd-Amerika auf Bergebenen 125', im Mittel aller Beobachtungen von Boussingault 113'.

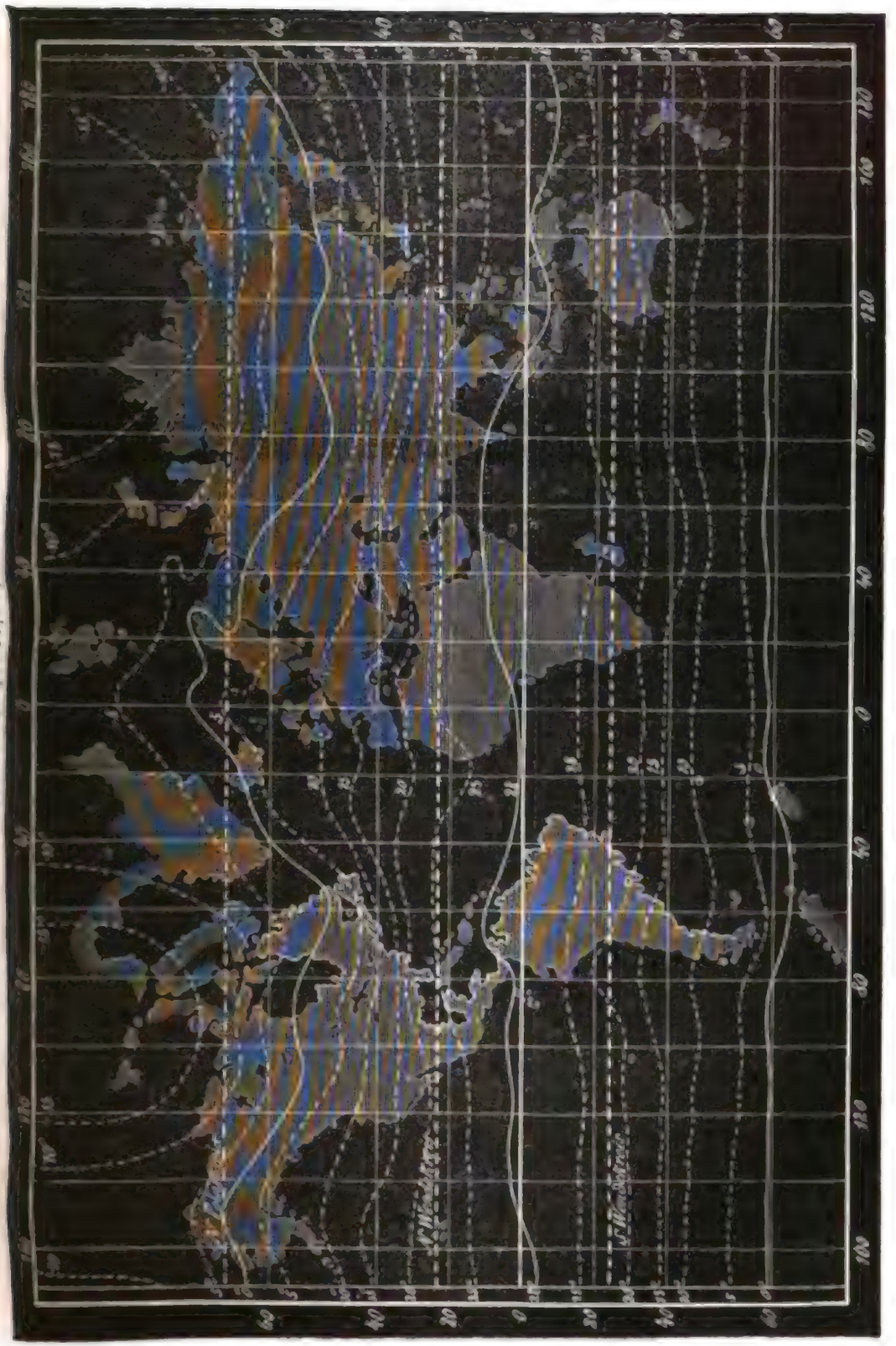
*) Vergl. Dove's Repertorium. Bd. III. S. 330—339 u. Bd. IV. S. 154.

Die Unsicherheit bei der Reduction der Landstationen auf das Meeresniveau fällt natürlich bei Beobachtungen auf dem Meere selbst weg. Dieser Vorzug wird aber wieder beeinträchtigt dadurch, daß es auf dem Meere viel befahrene Straßen giebt neben weiten Strecken, die fast nie besucht werden, und daß hier die Jahreszeiten den wesentlichsten Einfluß ausüben, da die herrschenden Winde bestimmen, wann der Seefahrer eine bestimmte Fahrt am günstigsten unternehmen kann. Mit Recht klagt daher Dove über Mangel an ausreichenden Beobachtungen auf dem Meere bei scheinbar großem Reichthume.

Wenn die Oberfläche der Erde durchweg von derselben Beschaffenheit und frei von Erhöhungen und Vertiefungen wäre, so müßte die mittlere Temperatur der auf demselben Parallelkreise gelegenen Orte durchaus dieselbe sein, indem dieselbe allein nach der größeren oder geringeren Schiefe, in welcher die Sonnenstrahlen auffallen, sich richten müßte, in dieser Beziehung aber unter demselben Parallelkreise liegende Orte unter denselben Verhältnissen stehen. Man könnte ferner vermuthen, daß Orte, die von dem Südpole eben so weit wie andere Orte vom Nordpole abstehen, gleiche mittlere Temperatur mit diesen haben sollten. Allein schon das ungleiche Absorptions- und Emissionsvermögen (Verschluckungs- und Ausstrahlungsvermögen) des festen Landes und des Wassers für die Wärmestrahlen macht das Erstere nicht wahrscheinlich, und die ungleiche Vertheilung des Festen und Flüssigen auf der südlichen und nördlichen Halbkugel der Erde eben so wenig das Andere. Die Erfahrung bestätigt dies, indem die Formeln, nach denen man unter jenen Voraussetzungen die mittlere Temperatur berechnet hat, gar häufig mit den Beobachtungen nicht übereinstimmende Resultate liefern. Als z. B. die Britten die ersten bleibenden Ansiedlungen in dem Littorale der Vereinigten-Staaten von Nord-Amerika gründeten, erstaunten die Ansiedler von Nord-Carolina und Virginien an bis zum St. Lorenz-Strome über die Winterkälte, die sie erlitten, wenn sie dieselbe mit der von Italien, Frankreich und Schottland unter denselben Breitengraden verglichen.

Es würde hier zu weit führen, eine Tabelle zu geben über die mittleren Temperaturen der großen Anzahl von Orten, an welchen eine solche Ermittelung stattgefunden hat; wir verweisen deshalb neben den bereits angeführten Quellen auf v. Humboldt's kleinere Schriften, denen im ersten Theile 5 im Jahre 1853 redigirte Tafeln beigefügt sind, welche die Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche in der jährlichen Periode und zwar die mittlere Temperatur des Jahres und deren Vertheilung auf die Jahreszeiten von 506 Stationen enthalten. Die Uebersicht über die mittlere Jahreswärme bietet am klarsten v. Humboldt's Karte der Jahres-Isothermen, die wir hier nach dem physikalischen Atlas von Berghaus mittheilen, dessen Vorbemerkungen zu demselben Atlas namentlich in der zweiten Lieferung ebenfalls ein reiches Material mit Angabe der Quellen darbieten.

Auf umstehender Karte sind die beiden Isothermen für 0° und eben so die Isotherme von 28°, welche man wohl auch den Wärmeäquator nennt, in ausgezogenen, die anderen Isothermen in punktirten Linien dargestellt. Ein Blick auf die Karte zeigt, daß der Wärmeäquator nicht parallel läuft mit dem Erdäquator. Der erstere durchschneidet in der nördlichen Halbkugel 255°, dagegen in der südlichen nur 105° des Erdumfanges. In der nördlichen steigt er



Karte der Jahresisothermen.

Digitized by Google

bis 15° n. Br., in der südlichen nur bis $6^1/_2{}^0$ s. Br. Die Knoten des Wärme- und Erdäquators sind: in der westlichen Halbkugel bei 155° w. L. von Paris, im Meridian der Sandwich-Insel Hawaii, in der östlichen bei 102° ö. L., im Meridian von Singapore. Auch das absolut größte Maximum der Wärme fällt in die nördliche Halbkugel und findet sich im Innern von Afrika, wiewohl auch auf der südlichen Halbkugel, indessen auf kleinerem Raume, nämlich im Borneo-Meere oder vielmehr in der Sunda-Straße, ein ähnliches Maximum auftritt.

Mit Berücksichtigung der speciellen Resultate ist man zu folgenden Sätzen gelangt:

1) Die Tropenzone in Afrika ist die heißeste Gegend auf der Erde.
2) Der heiße Erdgürtel in Afrika ist um 1°,2 wärmer als Südasien, um 2°,3 wärmer als die Küstenländer im tropischen Amerika.
3) Die Tropen Asiens sind um 1°,1 wärmer als die Tropen Amerikas.
4) Die tropischen Küstenländer der Alten Welt sind um 1°,6 wärmer als die tropischen Küstenländer des Neuen Continents.
5) Die Tropenzone des Großen Oceans, im stromfreien Meere, ist um $1^1/_4{}^0$ wärmer als die gleichnamige Zone des Atlantischen Oceans.

In Betreff der anderen Isothermen machen wir noch darauf aufmerksam, daß dieselben im westlichen, oder atlantischen Europa Wellenlinien bilden, bei denen sich etwa drei convexe und zwei concave Scheitel erkennen lassen. Die Isothermzone des mittelländischen Meeres scheint sogar in ihren Grenzcurven vier convexe und drei concave Scheitelpunkte zu haben. Besonders auffallend ist die Reihe der convexen, zugespitzten Scheitel, welche vom Südende Portugals über die Mitte der Iberischen Halbinsel, die Westspitze Frankreichs, die Insel Man, zwischen den Shetländischen Inseln und den Faröern hindurch, östlich von Island und westlich der Lofodden ziehen.

Auf diese Beugung der Isothermen im Gebiete des mittelländischen Meeres und im westlichen Europa üben wahrscheinlich die warmen Luftströme ihren Einfluß aus, welche aus der Mitte des nordatlantischen Oceans an die westlichen Gestade unseres Erdtheils gelangen; dann aber auch die Gluthwinde Afrikas, die sich aus dem Sandocean der Sahara erheben und ihre Hitze über Europa auf Linien ausschütten, welche die Gebirgslücken zu ihrem Durchgange gewählt haben.

Ein anderes, der Beachtung nicht unwerthes Phänomen ist das Zusammendrängen der Isothermen von $22^1/_2{}^0$ bis 10° im Südosten von Europa, auf der Grenze mit Asien, innerhalb des kaspischen See-Gebiets. Es wird diese Erscheinung hervorgebracht erstens von der Aequatorial-Beugung des 10. Isothermstrichs gegen das Innere des Festlandes, als Folge der östlichen Continental-Stellung, zweitens von der Nähe der heißen und trocknen Sandwüsten auf dem Tafellande von Iran, und drittens von der suboceanischen Lage des kaspischen Sees und seiner nächsten Umgebungen *).

Betrachten wir die Isothermen an den Ostküsten der Continente im Vergleich mit denselben an den Westküsten, so sehen wir, daß auf der nördlichen Halbkugel die Isothermen an der Westseite weiter nach Norden hinaufsteigen, als sie auf der Ostseite liegen. Es ist also in gleichen Breiten die mittlere Jahres-

*) Vergl. Berghaus, Vorbemerkungen. S. 4 u. 17.

temperatur an der Ostküste niedriger als an der Westküste. Zu Nain in Labrador (Br. 57° 10′) ist z. B. diese Temperatur volle 3°,8 unter dem Gefrierpunkte, während sie an der Nordwestküste in Neu-Archangelsk im russischen Amerika (Br. 57° 3′) noch 6°,9 über dem Gefrierpunkte ist. Am ersteren Orte erreicht die mittlere Sommertemperatur kaum 6°,2, während sie am zweiten noch 13°,8 ist. Peking (Br. 39° 54′) an der Ostküste von Asien hat eine mittlere Jahrestemperatur (11°,3), die über 5° geringer ist, als die des etwas nördlicher liegenden Neapels. Die mittlere Temperatur des Winters in Peking ist wenigstens 3° unter dem Gefrierpunkte, wenn sie im westlichen Europa, selbst zu Paris (48° 50′), volle 3°,3 über dem Gefrierpunkte steht. Peking hat also eine mittlere Winterkälte, die 2°,5 größer ist als das 17 Breitengrade nördlichere Kopenhagen. Jakutzk ist für jeden Tag im Jahre 17°,5 kälter als die Faröer, obgleich beide in gleicher Breite liegen. Diese erhöhte Temperatur an der Westküste Europas hat nach Dove ihren Grund in der von dem caraibischen Meere aufsteigenden, in Folge der Arendrehung der Erde nach NO. strömenden Luft, welche in nördlichen Gegenden ihren Wasserdampf in tropfbarflüssiger Form verliert, und auf diese Weise die früher gebundene Wärme frei macht. Aus gleichem Grunde zeigt sich die höhere Temperatur nur an dem schmalen Küstenstriche Westamerikas, indem die aus dem stillen Ocean kommende Luft auf diesem Striche durch die Andes und Felsgebirge zur Condensation ihrer Wasserdämpfe gezwungen wird. In Asien fehlt für die Winde, welche in dieser Richtung kommen, der Wasserdampf, also kann hier keine Wärme frei werden.

Vergleicht man zwischen 58° und 30° nördlicher Breite Nain an der Küste von Labrador mit Gothenburg, Halifax mit Bordeaux, New-York mit Neapel, San Augustin in Florida mit Cairo; so findet man unter gleichen Breitengraden die Unterschiede der mittleren Jahrestemperatur zwischen Ost-Amerika und West-Europa, von Norden gegen Süden fortschreitend: 11°,5; 7°,7; 3°,8 und fast 0°. Hieraus sehen wir zugleich, daß die Isothermen immer mehr mit den Parallelkreisen zusammenfallen, je näher wir dem Aequator kommen.

Bei Annäherung an den Nordpol nehmen die mittleren Jahrestemperaturen in folgender Weise ab:

nördl. Breite	Alter Continent	Neuer Continent.
von 0° bis 20°	um 2°	2°
20 „ 30	4	6
30 „ 40	4	7
40 „ 50	7	9
50 „ 60	5,5	7,4
von 0° bis 60°	um 22°,5	um 31°,4

Hierbei macht v. Humboldt *) besonders aufmerksam auf die schnellste Abnahme der mittleren Temperatur zwischen 40° und 50°, oder eigentlich 40° und 45°; er sagt: „dieser Umstand mußte günstig auf die Gesittung und den Kunstfleiß der Völker einwirken, welche die dem mittleren Parallel benachbarten Länder bewohnen. Es ist dies die Stelle, wo das Gebiet des Weinbaus sich mit

*) Kleinere Schriften Bd. I. S. 237; vergl. auch Kosmos. Bd. I. S. 340 ff.

dem des Oelbaums und der Citronen berührt. Nirgends sonst sieht man auf dem Erdboden, wenn man von Norden nach Süden vordringt, die Temperaturen bedeutender zunehmen; nirgends auch folgen die Erzeugnisse des Pflanzenreichs und die mannigfaltigen Gegenstände des Ackerbaues mit mehr Schnelligkeit auf einander. Eine bedeutende Verschiedenheit in den Erzeugnissen zusammengrenzender Länder belebt aber den Handel und vermehrt die Industrie der ackerbauenden Völker."

Da wir an diesem Orte die Beziehungen nicht erschöpfend darlegen können, zu welchen das Studium der Isothermenkarte Veranlassung giebt, so möge diese Probe von dem Schöpfer dieses Studiums selbst wenigstens die Idee davon veranschaulichen.

Bei der Aufzählung der Ursachen, welche Störungen in der Gestalt der Isothermen hervorbringen, unterscheidet v. Humboldt*) die temperaturerhöhenden und temperatur-vermindernden Ursachen.

Zu der ersten Klasse gehören: die Nähe einer Westküste in der gemäßigten Zone; die in Halbinseln zerschnittene Gestaltung eines Continents; seine tiefeintretenden Busen und Binnenmeere; die Orientirung, d. h. das Stellungsverhältniß eines Theils der Feste, entweder zu einem eisfreien Meere, das sich über den Polarkreis hinaus erstreckt, oder zu einer Masse continentalen Landes von beträchtlicher Ausdehnung, welches zwischen denselben Meridianen unter dem Aequator oder wenigstens in einem Theile der tropischen Zone liegt; ferner das Vorherrschen von Süd- und Westwinden an der westlichen Grenze eines Continents in der gemäßigten nördlichen Zone; Gebirgsketten, die gegen Winde aus kälteren Gegenden als Schutzmauern dienen; die Seltenheit von Sümpfen, die im Frühjahre und Anfange des Sommers lange mit Eis belegt bleiben, und der Mangel an Wäldern in einem trockenen Sandboden; endlich die stete Heiterkeit des Himmels in den Sommermonaten und die Nähe eines pelagischen Stromes, wenn er Wasser von einer höheren Temperatur, als das umliegende Meer besitzt, herbeiführt.

Zu den die mittlere Jahrestemperatur verändernden kälteerregenden Ursachen zählt derselbe: die Höhe eines Ortes über dem Meeresspiegel, ohne daß bedeutende Hochebenen auftreten; die Nähe einer Ostküste in hohen und mittleren Breiten; die massenartige (compacte) Gestaltung eines Continents ohne Küstenkrümmung und Busen; die weite Ausdehnung der Feste nach den Polen hin bis zu der Region des ewigen Eises, ohne daß ein im Winter offen bleibendes Meer dazwischen liegt; eine Position geographischer Länge, in welcher der Aequator und die Tropenregion dem Meere zugehören, d. i. der Mangel eines festen sich stark erwärmenden, wärmestrahlenden Tropenlandes zwischen denselben Meridianen als die Gegend, deren Klima ergründet werden soll; Gebirgsketten, deren mauerartige Form und Richtung den Zutritt warmer Winde verhindert, oder die Nähe isolirter Gipfel, welche längs ihren Abhängen herabsinkende kalte Luftströme verursachen; ausgedehnte Wälder, welche die Isolation des Bodens hindern, durch Lebensthätigkeit der appendiculären Organe (Blätter) große Verdunstung wässeriger Flüssigkeit hervorbringen, mittelst der Ausdehnung dieser Organe die durch Ausstrahlung sich abkühlende Oberfläche vergrößern, und also dreifach: durch Schatten-

*) Kosmos. Bd. I. S. 343.

kühle, Verdunstung und Strahlung, wirken; häufiges Vorkommen von Sümpfen, welche im Norden bis in die Mitte des Sommers eine Art unterirdischer Gletscher in der Ebene bilden; einen nebligen Sommerhimmel, der die Wirkung der Sonnenstrahlen auf ihrem Wege schwächt; endlich einen sehr heiteren Winterhimmel, durch welchen die Wärmestrahlung begünstigt wird.

Die gleichzeitige Thätigkeit dieser störenden Ursachen bestimmt als Totaleffect die Beugungen der Isothermen und erzeugt die convexen und concaven Scheitel der isothermen Curven. Die Isothermkarte dient als Bestätigung, wenn man auf die geographischen Verhältnisse der einzelnen Localitäten gehörige Rücksicht nimmt.

Das Bild, welches man durch die Isothermkarte für die Vertheilung der mittleren Jahreswärme gewinnt, paßt nicht für die einzelnen Abschnitte des Jahres; denn es ist der Wärmeunterschied zweier Orte nicht das ganze Jahr hindurch derselbe, und eben so können zwei Orte bei gleicher mittlerer Jahreswärme wesentliche Unterschiede zeigen in den mittleren Temperaturen der einzelnen Monate und der Jahreszeiten. Es ist dies besonders wichtig für die Klimatologie (s. Art Klima), weil man Gegenden von gleicher mittlerer Jahreswärme nicht ohne Weiteres als auch dem Klima nach gleich ansehen darf. Es zeigt diese Verschiedenheit deutlich folgende Tabelle von v. Humboldt *), welche die mittleren Temperaturen des Sommers und Winters für Gegenden enthält, welche dasselbe Jahresmittel haben.

Isothermen von	Gegend	Mittlere Temperatur des Winters	Mittlere Temperatur des Sommers
20°	Florida	12°	27°
	Madeira	17,5	22,2
	Nord-Afrika	15	27
17½	Mississippi	8	25
	Italien	10	25
15	Becken des Ohio	4	25,5
	Südliches Frankreich	7	24
12½	Amerika westl. von den Alleghanis	1,5	24
	Amerika östl. v. denselben	0,3	25
	Westliches Frankreich	5	20
	Lombardei	1,5	23
	Ost-Asien	— 3,0	28
	Amerika westl. von den Alleghanis	— 0,5	22
	Amerika östl. von den Alleghanis	— 1,0	23
	Irland	4,0	15,3
10	England	3,0	17
	Belgien	2,5	17,5
	Ungarn	— 0,5	21
	Ost-Asien	— 5,0	26

*) Kleinere Schriften. Bd. I. S. 255.

Isotherme von	Gegenden	Mittlere Temperatur des Winters	Mittlere Temperatur des Sommers
$7^1/_2{}^0$	Amerika östl. von den Alleghanis	— 4,5	22
	Schottland	2,3	13,6
	Dänemark	— 0,7	17
	Polen	— 2,2	19
5	Canada	— 10	20
	Westliches Norwegen	— 4	17
	Schweden	— 4	16
	Finnland	— 5	17,5
	Centrales Rußland	— 10,5	20
$2^1/_2$	Canada	— 14	16
	Westküste des bothnischen Meerbusens	— 8	14
	Ostküste des bothnischen Meerbusens	— 8,5	15
0	Labrador	— 16	11
	Schweden	— 11,5	12
	Nordspitze von Norwegen	— 4,5	6,5

Es genüge Beispiels halber aufmerksam zu machen auf Irland und England im Gegensatze zu Ost-Asien, wo sofort die große Verschiedenheit des Klimas in die Augen springt.

Um auf dem von v. Humboldt eingeschlagenen Wege eine genauere Einsicht in die Wärmeverhältnisse der Erdoberfläche zu gewinnen, erscheint es also nothwendig, für kleinere Zeiträume die Linien gleicher Wärme zu bestimmen und die Veränderungen zu verfolgen, welche die Lage dieser Linien während des ganzen Jahres durchlaufen. Schon v. Humboldt*) hat dergleichen Linien zu bestimmen gesucht für die mittlere Winter- und mittlere Sommer-Temperatur, und nennt jene Isochimenen (v. d. griech. ἴσος, gleich und χειμών, Winter), diese Isotheren (v. d. griech. ἴσος, gleich und θέρος, Sommer); aber das Hauptverdienst auf diesem Gebiete gebührt Dove durch seine Monatsisothermen, worunter die Curven verstanden werden, welche Orte verbinden, die innerhalb desselben Monats eine gleiche Temperatur haben.

Die Veränderungen in der mittleren Monats-Temperatur durch einige Beispiele zu veranschaulichen, folgen hier die Monatsmittel für drei Orte, welche als Repräsentanten der heißen, gemäßigten und kalten Zonen betrachtet werden können.

*) Kleinere Schriften. Bd. 1. S. 251 ff.

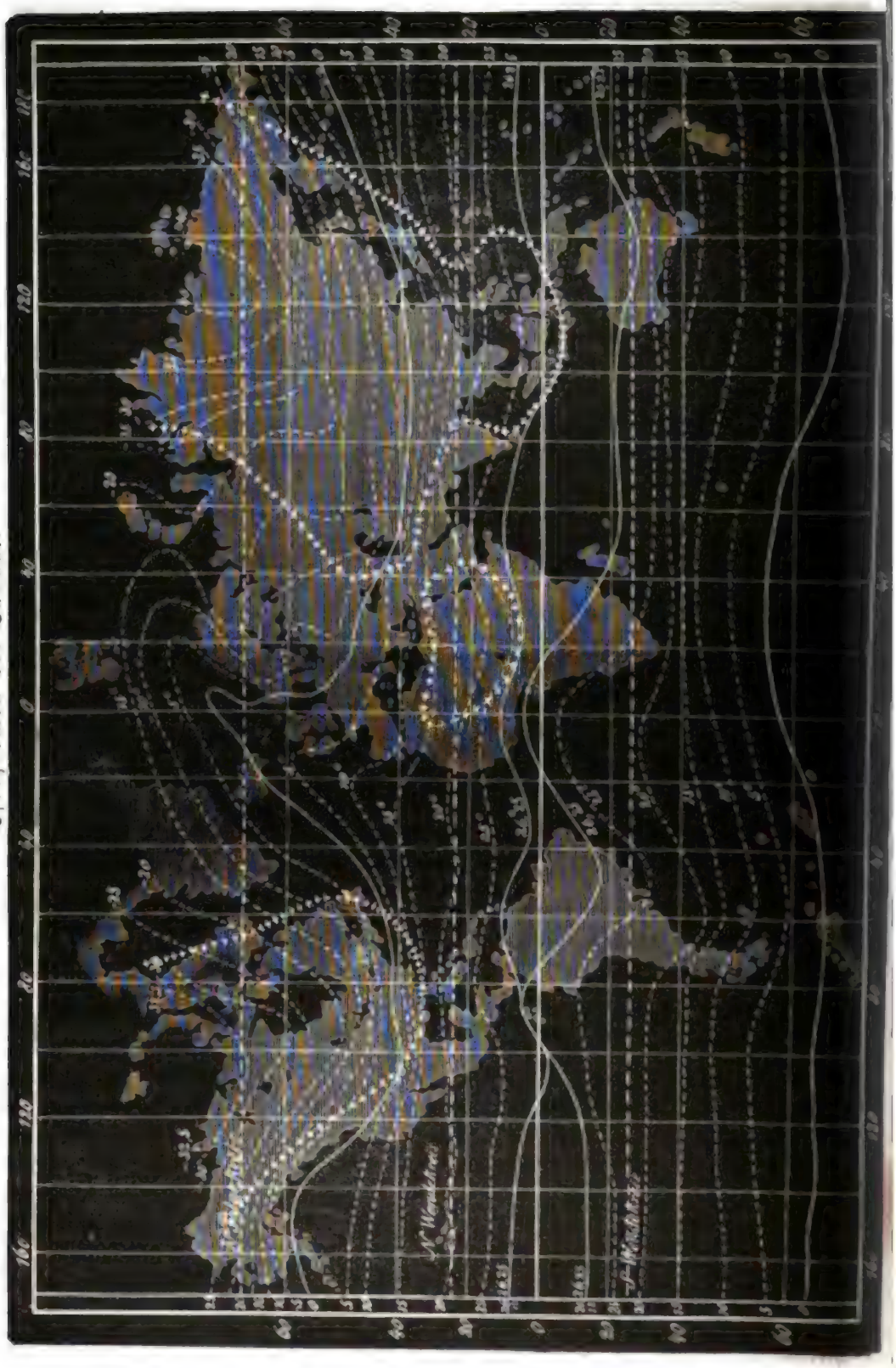
	Quito	Halle	Enontekis
Geographische Breite . .	— 0° 14′	51° 30′	68° 30′
Januar	14°,6	— 2°,8	— 17°,8
Februar	16,1	— 0,4	— 16,7
März	15,6	4,25	— 11,4
April	15,5	8,4	— 3,25
Mai	15,9	13,2	2,6
Juni	15,0	16,3	9,45
Juli	15,1	19,2	14,5
August	16,1	17,1	13,7
September	16,3	14,8	5,6
October	15,5	9,1	— 2,3
November	15,3	3,1	— 11,25
December	15,8	2,4	— 16,4
Jahresmittel	15,57	8,72	— 2,77
Unterschied zwischen dem wärmsten und kältesten Monate	1°,7	22°,0	32°,3.

Während Quito das ganze Jahr hindurch fast auf derselben Isotherme liegt, geht durch Halle die Jahresisotherme 8°,72, im Sommer die von 19°,2 und im Winter fast die von — 3°, und eben so wird Enontekis von der Jahresisotherme (— 2°,77) bis + 14°,5 hinauf und — 17°,8 herabgerückt. In dem einen Falle beträgt die Verschiebung nur 1°,7, im anderen 22° und im dritten gar 32°,3, und dies ist noch nicht das Maximum, denn in Jakutzk steigt dieselbe bis auf 63°.

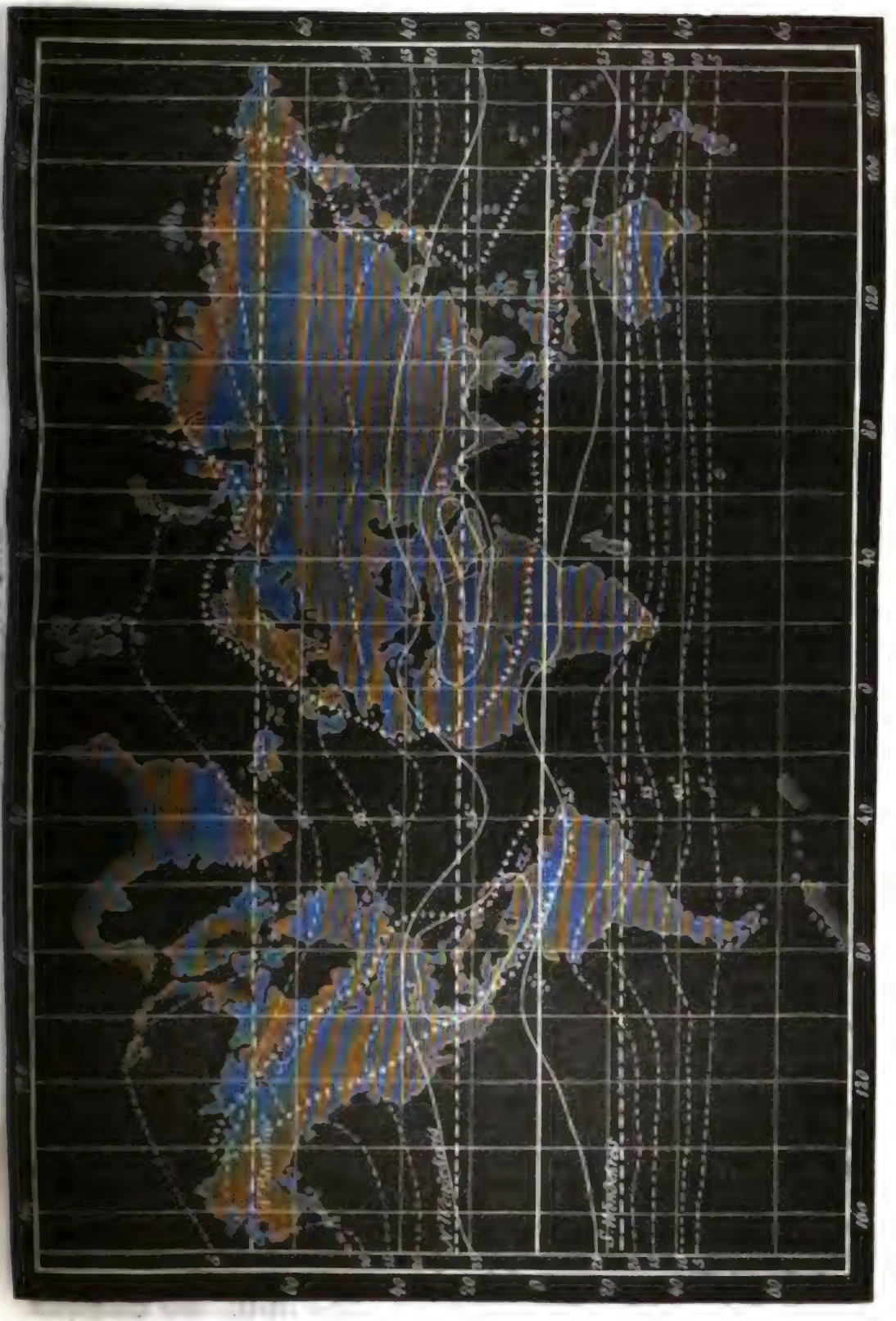
Schon aus diesen wenigen Beispielen wird es klar werden, wie wesentlich die Klimatologie gefördert werden muß, wenn diese Verhältnisse bei den verschiedenen Gegenden der Beurtheilung und Vergleichung zu Grunde gelegt werden.

Wir können hier die sämmtlichen Monatsisothermen von Dove nicht wiedergeben; es mögen auf umstehenden Seiten die auf kleineres Format reducirten Isothermen des Januar und Juli genügen, was um so mehr statthaft erscheint, als diese die Extreme zur Anschauung bringen.

Dove hat die einzelnen Monats-Isothermen einer besonderen Discussion unterworfen, die viele höchst interessante Gesichtspunkte darbietet. Da dieselbe keines Auszugs fähig ist, wodurch überdies nur der Genuß des Ganzen gestört werden würde, so müssen wir auf diese bedeutende Arbeit selbst verweisen. Hier empfehlen wir besonders die Aufmerksamkeit auf den Verlauf der nördlichen Isotherme von Null Grad und zwar auf der Karte des Januar im Vergleich mit derjenigen der Jahres-Isothermen zu richten. Um den Verlauf dieser beiden Curven besser übersehen zu können, sind sie in ausgezogenen Linien dargestellt. Der convexe Scheitel zwischen Island und Skandinavien und das fast im Meridian von Brüssel auftretende Herabsteigen von dem nördlichen Polarkreise bis nach Holland verdient auf der Karte des Januar vorzugsweise Beachtung, indem sich hierbei der Einfluß des Golfstromes unverkennbar herausstellt.



Isothermen des Januar.



Isothermen des Juli.

Digitized by Google

Ein zweiter die Aufmerksamkeit namentlich verdienender Punkt betrifft die den heißesten Raum auf der Januarkarte einschließenden Scheidelinien der Temperatur beider Hemisphären von 26°,2. Das weite Uebergreifen dieses heißen Raumes auf die Südhälfte der Erde im indischen Oceane und das Umschlagen des Nordostpassates in derselben Gegend in den Nordwestmonsoon (vergl. Art. Winde) stehen mit einander in innigem Zusammenhange. Um diesen heißesten Raum besser kenntlich zu machen, sind auf der Karte die Scheidelinien ebenfalls in ausgezogenen Linien dargestellt.

Wie verschieden ist die Isothermkarte des Juli! Auf die einzelnen Punkte besonders hinzuweisen, dürfte hier nicht nöthig sein; wir heben daher nur den von den Isothermen von 25° eingeschlossenen heißesten Raum hervor, in welchem sich in Afrika und Ostindien ein langgezogener Raum bildet, eingeschlossen von einer Isotherme von 30°, und in diesem noch ein kleinerer, umschlossen von einer Isotherme von 32°,5. Dove erinnert daran, daß dies die Gegenden seien, von denen Hagi Ismael sagt, daß die Erde von Feuer, und der Wind eine Flamme; auch führt er hierbei das bezeichnende Wort der Afghanen an: „Guter Gott, warum hast du die Hölle geschaffen, da doch Ghizni schon da war." Da diese heißesten Stellen bis über den Wendekreis des Krebses hinaus rücken, so ist es kein Wunder, daß der SO. Passat als SW. Monsoon dem zurückweichenden NO. Passat bis zum Fuße des Himalaya folgt (vergl. Art. Winde), und eben so daß über den zusammenhängenden Ländermassen Asiens bis hoch im Norden hohe Temperaturen hervortreten. — Im Antillenmeere tritt zwar auch eine heißeste Stelle auf, doch erreicht diese wegen des Meeres keine so hohe Temperatur als in Afrika und Ostindien. Es ist dies die Stelle, von welcher der aufsteigende Luftstrom als SW. temperaturerhöhend auf die Westküste Europas einwirkt, wie oben bereits hervorgehoben wurde.

Dove faßt die Gestaltänderung der Isothermen für die drei Welttheile der nördlichen Erdhälfte in folgenden Worten zusammen:

In Asien rücken in der jährlichen Periode die Isothermen am weitesten herauf und herunter, die im Winter concaven Scheitel verwandeln sich im Sommer in convexe.

In Europa drehen sich die Isothermen am stärksten.

In Amerika rücken die concaven Scheitel vom Winter nach dem Sommer hin aus dem Innern des Continents nach den Ostküsten und verflachen sich erst im Spätsommer und Herbst.

Asien hat daher kalte Winter und heiße Sommer, Europa mäßigt beide Extreme, Amerika hat strenge Winter, ein kaltes Frühjahr, schließt sich im Sommer an Europa an, übertrifft es aber durch die Schönheit seines Herbstes.

Auf die physikalischen Ursachen dieser Unterschiede haben wir bereits oben in den temperatur-erhöhenden und vermindernden hingewiesen, der Art. Klima geht darauf noch näher ein und namentlich giebt der Charakter des See- und des Continental-Klimas in seiner richtigen Auffassung die deutlichste Einsicht.

Verfolgt man die Verschiebung der Isothermen durch das ganze Jahr hindurch, und fragt man, in welcher Richtung wir von einem bestimmten Orte fortschreiten müssen, um stets zu Punkten gleicher Wärme zu gelangen, so ergiebt sich, daß alle diese Richtungen in eine Fläche fallen, welche wie die Schneegrenze sich von den Polen nach dem Aequator hin immer höher erhebt. Der Durchschnitt

Digitized by Google

einer solchen isothermen Fläche mit der Erdoberfläche ist die isotherme Linie.

Nimmt die Mittagshöhe der Sonne zu, so erhebt sich die Temperatur an der Erdoberfläche, d. h. die isothermen Flächen heben sich und ihre Durchschnittslinien entfernen sich von dem Aequator; bei abnehmender Mittagshöhe der Sonne findet das Entgegengesetzte statt. Die nördliche und südliche Erdhälfte stehen immer gleichzeitig in diesem Gegensatze. Da innerhalb der Wendekreise die Aenderung der Mittagshöhe der Sonne geringer ist, als außerhalb derselben, so haben diese isothermen Flächen hier gewissermaßen einen festen Stützpunkt. Man kann sich daher eine solche Fläche wie eine zeltartige Hülle denken, welche am Aequator aufgehängt auf die nördliche und südliche Erdhälfte herabfällt und je nach der Veränderung der Mittagshöhe der Sonne sich hebt und senkt in der Weise, wie es oben angegeben ist. Wie viel isotherme Flächen, so viel solcher Hüllen hätte man sich zu denken. Verfolgt man nun das Schneiden dieser Flächen mit der Erdoberfläche, so ergeben sich folgende vier Fälle:

1) Die Isothermen können stets paarweise vorkommen. Dies sind die Isothermen von 0° bis 25° C.
2) Einfache und paarweise. Hierher gehören viele Isothermen unter 0°, auch einige der höchsten Temperatur, z. B. 28° C.
3) Nur einfach. Hierher gehören die niedrigsten Isothermen, z. B. — 40° C., und eben so die höchsten, z. B. 32°,5 C. Diese zeigen sich nur zu gewissen Zeiten und nur auf einer Erdhälfte.
4) Die Isothermen können sich spalten, d. h. eine Zeitlang einfach verlaufen und dann sich in zwei Aeste theilen, z. B. 26°,25 C.

Zum Schluß dieses Artikels haben wir noch eines fruchtbaren Begriffes zu erwähnen, welchen Dove eingeführt hat; dies sind die thermischen Normalen.

Jeder Breitenkreis hat eine bestimmte mittlere Wärme, wie verschieden auch die Temperatur unter den verschiedenen Längen ausfallen mag. Ein Ort nun, dessen Temperatur der mittleren seiner geographischen Breite entspricht, besitzt eine normale Temperatur, alle, deren Temperatur geringer ist, sind relativ kalt, alle, deren Temperatur höher ausfällt, relativ warm. Verbindet man alle Orte normaler Temperatur, so erhält man die thermischen Normalen, die zugleich die Grenzlinien des See- und Continentalklimas sind, wenn man alle Orte, die im Winter zu warm, im Sommer zu kühl sind, dem Seeklima zurechnet, die hingegen dem continentalen, welche im Winter zu kalt und im Sommer zu warm sind.

Auf den Isothermkarten des Januar und Juli stellen die mit Sternen gezeichneten Curven die thermischen Normalen dieser Monate dar. Die Betrachtungen, zu welchen diese Normalen anregen, gehören in den Art. Klima; hier sei nur bemerkt, daß man durch dieselben beurtheilen kann, ob ein Ort stets der einen Form, dem See- oder Continentalklima, angehört, oder ob er im Laufe des Jahres seine Rolle vertauscht. So sehen wir, daß Asien sowohl im Januar als im Juli im Continentalklima liegt, eben so das Innere von Afrika; aber in Europa finden wir im Juli Continentalklima und im Januar Seeklima; in Neufundland und Labrador tritt ein Wechsel in entgegengesetzter Weise auf,

indem dieſe Gegenden im Januar im Continentalklima liegen, aber im Juli im Seeklima.

Auch wollen wir hier die Aufmerkſamkeit noch richten auf die ſüdliche Hemiſphäre. Es wird vielfach behauptet, daß dieſe kälter ſei als die nördliche. Werfen wir aber einen Blick auf die Iſothermkarten, ſo fällt uns ſogleich auf, daß die Iſothermcurven nur wenig und viel weniger als im Norden von der Richtung der Parallelkreiſe abweichen; es wird dadurch ſchon anſchaulich, daß die Temperatur in der ſüdlichen Erdhälfte während des ganzen Jahres ſich der normalen ſehr nähert. Vergleichen wir nun Orte der nördlichen Erdhälfte, welche mit Feuerland, z. B. in ungefähr gleicher Entfernung vom Aequator liegen, ſo finden wir, daß in Quebeck (47° n. Br.) die mittlere Januartemperatur — 10° beträgt, im Juli iſt dieſelbe auf Feuerland (55° ſ. Br.) kaum 0°; ja in Quebeck fällt das Thermometer nicht ſelten im Winter auf — 26°, ja ſelbſt auf — 30°. Noch auffallender iſt ein Vergleich zwiſchen Labrador und Feuerland, da dieſe in Betreff der Breite noch mehr übereinſtimmen. Nehmen wir hinzu, daß ſelbſt in Neufoundland, welches eine geringere Breite als Kap Horn hat, die Häfen im Winter drei bis vier Monate zugefroren ſind, während am Kap Horn keine der kleinen Buchten, keiner der Häfen jemals gefriert; bedenken wir, daß die Bewohner Feuerlands ſelbſt im Winter nackt gehen; berückſichtigen wir, daß bei der Magelhaens-Straße Kolibris und Papageien ſehr zahlreich ſind: ſo kommen wir zu dem Schluſſe, daß die Winter auf der ſüdlichen Halbkugel abſolut milder ſind als auf der nördlichen.

Zu gleichem Reſultate gelangt man bei einer Vergleichung der auf demſelben Meridiane liegenden anderen Stellen der ſüdlichen und nördlichen Erdhälfte, wozu die Iſothermkarten ausreichende Anhaltepunkte gewähren. Le Gentil *) und vorzüglich Kirwan **) haben das Verdienſt zuerſt dargethan zu haben, daß der Einfluß des den Pol umlagernden Eiſes (Circumpolar-Eiſes) auf die Klimate ſich nicht ſo weit in die gemäßigte ſüdliche Zone erſtreckt, als man allgemein angenommen hatte. H. E.

Juno, ſ. Planeten.

Jupiter, ſ. Planeten.

Kältemiſchung, Froſtmiſchung. Während bei dem Uebergange der gasförmigen und flüſſigen Körper in den flüſſigen und feſten Zuſtand Wärme frei wird, bedürfen die flüſſigen und feſten Körper einer bedeutenden Menge von Wärme, wenn wir ſie in den gasförmigen oder flüſſigen Zuſtand überführen wollen. Bedienen wir uns hierbei keiner künſtlichen Wärmequelle, ſo entziehen die Körper die zu ihrer Umwandlung nöthige Wärme ihrer nächſten Umgebung und dadurch entſteht Kälte. So z. B. bei Löſungen von Salzen in Waſſer oder von Metallen

*) Voyage dans les Mers de l'Inde 1779. T. I. p. 73.

**) Estimate of Temperature p. 60; Transact. of the Royal Irish Acad. T. VIII. 1802. p. 423; vergl. A. v. Humboldt, Kleinere Schriften. Bd. I. S. 283.

in Queckſilber. Die Wirkung trockner Salze, die eine große Verwandtſchaft zum Waſſer haben, d. h. ſich leicht in demſelben auflöſen, iſt ſo energiſch, daß dadurch bedeutende Mengen von Schnee oder Eis geſchmolzen werden können. Man hat ſogar vorgeſchlagen *) das Eis auf den Straßen durch Beſtreuen mit Kochſalz zu entfernen.

Die erſte Beobachtung dieſer Art machte Boyle. In ſeiner Schrift über die Kälte **) ſpricht er von der Wirkung der Salze beim Schmelzen des Schnees oder Eiſes. Später beobachtete er auch ***), daß man gleichfalls eine beträchtliche Kälte durch bloßes Auflöſen von Salmiak in Waſſer hervorbringen könne. In ſpäterer Zeit erregten dieſe Verſuche große Aufmerkſamkeit und man hat eine Menge ſogenannter Kälte- oder Froſtmiſchungen feſtgeſtellt, d. h. Gemenge von Salzen und Waſſer, Säuren, Schnee oder Eis, durch die man beträchtliche Temperaturerniedrigungen erzielen kann. Mit Hülfe derſelben hat man das Verhalten der verſchiedenſten Körper in der Kälte und zwar bei ſolchen Graden ſtudirt, die uns in unſerem gemäßigten Klima durch die Natur nicht geboten werden. Waſſer und Queckſilber z. B. kann man ſo bei der größten Hitze des Sommers, ja ſogar über dem Feuer zum Gefrieren bringen. Hierin findet auch der bekannte artige Scherz, einen Teller in einem warmen Zimmer anfrieren zu laſſen, ſeine Erklärung. Man ſtellt nämlich einen Teller in wenig Waſſer, und füllt ihn mit feinzerriebenem Kochſalz und Schnee, die man gut unter einander mengt. Nach wenig Augenblicken iſt dann der Teller feſtgefroren.

Die allgemeinen Regeln, welche man zu befolgen hat, wenn man ſich dieſer Kältemiſchungen bedienen will, ſind folgende. Um eine möglichſt große Temperaturerniedrigung hervorzubringen, muß man die Salze fein pulvern und fleißig umrühren, alſo die Auflöſung erleichtern. Deshalb ſind im Allgemeinen die Salze vorzuziehen, die ſich am leichteſten löſen; aus dieſem Grunde ſind auch verdünnte Säuren oft zweckentſprechender als Waſſer. Iſt das Salz fähig Kryſtalle oder Hydratwaſſer aufzunehmen, ſo muß es auf das Vollſtändigſte damit geſättigt ſein, denn ſonſt nimmt es das Fehlende bei der Operation ſelbſt auf und jede chemiſche Verbindung erzeugt Wärme. In jedem Falle wird dadurch die Temperaturerniedrigung eine geringere, ja ſie kann ſogar ganz vereitelt werden, wenn nämlich durch die chemiſche Verbindung mehr Wärme frei, als durch den Uebergang aus dem feſten in den flüſſigen Zuſtand gebunden wird. Die Temperatur der umgebenden Luft hat natürlich einen Einfluß auf die Erkältung, im Sommer einen ungünſtigen, im Winter einen günſtigen. Daher darf man die Verſuche nicht in einem zu kleinen Maßſtabe anſtellen, mindeſtens mit 2 bis 3 Pfund der Miſchung. Zur Aufnahme der Kältemiſchung wählt man ein Gefäß aus einem Material, z. B. Holz, welches die Wärme ſchlecht leitet, alſo die Einwirkung der wärmeren Umgebung möglichſt verhindert. Die Gefäße hingegen, in denen das Gefrieren erfolgen ſoll, müſſen ſehr dünne ſein und aus Materialien angefertigt werden, welche die Wärme gut leiten. Günſtigere Erfolge erzielt man natürlich, wenn man das Gefäß mit der Kältemiſchung abermals mit einer ſolchen umgiebt.

---

*) Graham-Otto, Lehrbuch der Chemie. Bd. I. S. 63.
**) Histor. experiment. de frigore. London 1665.
***) A new frigoric experiment in Philos. transact. n. 15.

Man kann zwar durch ſolche Froſtmiſchungen mitten im Sommer und ohne Anwendung von Schnee oder Eis Waſſer und Queckſilber zum Gefrieren bringen, aber mit Hülfe der letzteren, beſonders wenn die anderen hierzu gebräuchlichen Materialien zuvor auch möglichſt erkältet worden ſind, wird die Arbeit doch weſentlich erleichtert und weniger koſtſpielig gemacht. Es braucht wohl kaum erſt geſagt zu werden, daß man aus den Auflöſungen die Salze durch Abdampfen wieder gewinnen kann.

Dieſe Temperaturerniedrigungen haben natürlich ihre beſtimmten Grenzen. Sie iſt beſchränkt durch den Grad, wo die Miſchungen ſelbſt gefrieren. Dies zeigten zuerſt De Luc und Blagden. So z. B. zerfällt eine Auflöſung von Kochſalz in Waſſer bei — 20° vollſtändig in Eis und kryſtalliſirtes waſſerhaltiges Kochſalz; beide wirken dann nicht mehr auf einander. Beim Chlorcalcium und Schnee tritt dieſer Punkt erſt bei — 60° ein und bei verdünnter Schwefelſäure und Schnee liegt er noch weit tiefer.

Wie ſchon geſagt, hat man namentlich in älterer Zeit viele Verſuche hierüber angeſtellt, die wir hier jedoch nur mit wenigen Worten beſprechen wollen. Wir führen dafür die Quellen an, ſo daß dieſe Jedem zugänglich werden können.

Fahrenheit bediente ſich bekanntlich einer Miſchung von Eis und Salmiak, um den Nullpunkt ſeines Thermometers zu beſtimmen, weil er glaubte, daß die ſtärkſte natürliche Kälte ſich über dieſen Punkt nicht erſtrecke. Reaumur war es zuerſt, der die durch Kältemiſchungen hervorgebrachten Temperaturerniedrigungen vermittelſt des Thermometers beſtimmte *). Ferner haben ſich mit ähnlichen Verſuchen beſchäftigt Hutchins **), Joh. H. Nab zu Henley Houſe in der Hudſons Bay (auf Betrieb von Cavendiſh) ***), Richard Walker, Apotheker zu Oxford ****), Blagden *****), Lowitz ******), Huſſin Puſchkin †), Fourcroy und Vauquelin ††), Guyton †††), Zanetti der Aeltere ††††), Haſſenfratz †††††), van Mons *†), Hutton **†),

*) Mémoir. de l'acad. roy. des scienc. 1734.

**) Phil. trans. Vol. LXXII.

***) Crell, Beiträge z. d. chem. Ann. Bd. II. S. 279.

****) Phil. trans. Vol. LXXVIII. Part. II. p. 277. Vol. LXXIX. Part. II. p. 199. Phil. trans. for the year 1795. Part. II. p. 270. Deutſch: Gren's Journal der Phyſik. Bd. I. 1790. S. 419; Bd. II. S. 358. Gren's neues Journal der Phyſik. Bd. III. 1796. S. 458.

*****) Phil. trans. Vol. LXXVIII. Part. I. p. 125 u. Part. II. p. 277. Deutſch: Gren's Journ. d. Phyſ. Bd. I. S. 87 u. 389.

******) Crell's chem. Ann. 1796. Bd. I. S. 529.

†) Crell's chem. Ann. 1798. Bd. I. S. 1.

††) Bulletin des Sciences de la soc. philomat. An VII. p. 179; ausführlicher Annales de Chimie. No. 87. p. 281. Deutſch: Gilbert's Ann. d. Phyſ. Bd. I. S. 479 und Bd. II. S. 107.

†††) Gilb. Ann. d. Phyſ. Bd. I. S. 482 u. Bd. II. S. 112.

††††) Journ. de Paris par Roederer et Coranvey, 2 Pluviose, An VII. Deutſch: Gilb. Ann. d. Phyſ. Bd. I. S. 487.

†††††) Journ. polytechnique. Cah. 1. Paris, An III. p. 123. Deutſch: Gilb. Ann. d. Phyſ. Bd. I. S. 493.

*†) Gilb. Ann. d. Phyſ. Bd. II. S. 118 u. 366.

**†) Gilb. Ann. Bd. XLVI. S. 119.

Richter*), Tralles**). Aus der neueren Zeit haben wir die Unterſuchungen von Thomſon***), Biſchof und Wöllner****) und Karſten*****) anzuführen.

Wir ſtellen hier einige der brauchbareren Kältemiſchungen mit Angabe der Temperaturabnahme zuſammen.

Miſchungen von Salzen und Waſſer	Temperaturabnahme
Salpeterſaures Ammoniak, Waſſer, gleiche Theile	von + 10° bis — 15,5° C.
Salpeterſaures Ammoniak, Kohlenſaures Natron, Waſſer, gleiche Theile	von + 10° bis — 13,8° C.
Salmiak, 5 Theile Salpeter, 5 Theile Waſſer, 16 Theile	von + 10° bis — 12,2° C.
Salmiak, 5 Theile Salpeter, 5 Theile Glauberſalz, 8 Theile Waſſer, 16 Theile	von + 10° bis — 15,5° C.
Salpeter, 10 Theile Salmiak, 32 Theile Chlorkalium, 57 Theile Waſſer, 40 Theile	von + 10° bis — 12° C.
Schwefelcyankalium, Waſſer, gleiche Theile	von + 18° bis — 21° C. †).
Glauberſalz, 8 Theile Rohe ſtarke Salzſäure, 5 Theile	von + 10° bis — 17° C.
Glauberſalz, 3 Theile Scheidewaſſer, 2 Theile	von + 10° bis — 16° C.
Glauberſalz, 5 Theile Verdünnte Schwefelſ. von 36° B., 4 Th.	von + 10° bis — 16° C.
Glauberſalz, 3 Theile Salmiak, 2 Theile Salpeter, 1 Theil Scheidewaſſer, 2 Theile	von + 10° bis — 12° C.
Glauberſalz, 6 Theile Salpeterſaures Ammoniak, 5 Theile Scheidewaſſer, 4 Theile	von + 10° bis — 10° C.

*) Stöchiometrie 1, 2, 87.
**) Gilb. Ann. d. Phyſ. Bd. XXXVIII. S. 363.
***) Records of general science. Vol. IV. p. 40. Deutſch: Journ. f. prakt. Chem. Bd. XIII. S. 176.
****) Schweigger's Journ. f. Phyſ. und Chem. Bd. LII. S. 370.
*****) Schriften der Berl. Akad. 1841.
†) Marchand in Journ. f. prakt. Chem. Bd. XXXII. S. 499.

Miſchungen von Salzen mit Säuren	Temperaturabnahme.
Phosphorſaures Natron, 9 Theile Scheidewaſſer, 4 Theile	von + 10° bis — 10°, nach Berzelius *) bis — 24° C.
Salzſäure, Schwefelſaures Zinkoxyd, gleiche Theile	von + 10° bis — 7° C. **).

Eines der gebräuchlichſten Mittel hohe Kältegrade künſtlich zu erzeugen, iſt das Chlorcalcium, das in großen Mengen leicht und billig beſchafft werden kann. Man wendet es im kryſtalliſirten Zuſtande an mit Waſſer, Schnee oder geſtoßenem Eiſe. Am beſten erhitzt man es ſo lange, bis alles Kryſtallwaſſer verjagt worden iſt und es nun eine trockene, aufgeſchwollene und poröſe Maſſe bildet, die man ganz fein pulvert und durchſiebt. In dieſem Zuſtande nimmt es das ganze Kryſtallwaſſer aus der Luft leicht wieder auf. Man miſcht es mit $^1/_2$, $^2/_3$, höchſtens dem gleichen Theile Schnee. Wendet man hierbei die oben angegebenen Vorſichtsmaßregeln an und operirt man mit wenigſtens 10 bis 15 Pfunden, ſo läßt dieſe Miſchung nichts zu wünſchen übrig. In kalten Wintern hat man auf dieſe Art bis zu 60 Pfund Queckſilber zum Gefrieren gebracht. Operirt man nur mit kleinen Mengen, jedoch nicht unter einem Pfunde, ſo thut man gut, ſogleich eine zweite Miſchung bei der Hand zu haben, und den bereits erkalteten Körper in dieſe hineinzulegen, wenn die Wirkung der erſten nachläßt. Selten ſchlägt es fehl, daß das Queckſilber nicht ſchon in der zweiten Miſchung ſchnell erſtarren ſollte.

Ueber die Wirkungen der Kältemiſchungen, wenn man ſtatt des Waſſers Schnee oder zerſtoßenes Eis (einen Theil) anwendet, giebt Gmelin ***) folgende Angaben:

Mit $^1/_3$ verdünnter Schwefelſäure (4 Th. auf 1 Th. Waſſer)
Temperaturabnahme von 0° bis — 32,5°.

" 1	"	"	" — 7°	" — 51°.
" $^1/_2$	"	Salpeterſäure	" — 23°	" — 49°.
" 1	"	"	" — 17,8°	" — 43°.
" $1^1/_3$	kryſtalliſirtem	Kali	" 0°	" — 28°.
" $^1/_2$	Kochſalz		" 17,8°	" — 20°,5.
" 1	"		" 0°	" — 17,8°.
" $^1/_2$	Chlorcalcium		" — 9°	" — 42,5°.
" $1^1/_3$	"		" 0°	" — 49°.
" 2	"		" — 17,8°	" — 54,4°.
" 3	"		" — 40°	" — 58°.

Der Grund, warum die leicht löslichen Salze mit Schnee eine größere Kälte hervorbringen, als mit Waſſer, iſt ein doppelter; hier wird nicht allein das Salz,

---

*) Lehrb. d. Chem. 4. Aufl. Bd. I. S. 65.

**) Dieſe Zuſammenſtellung iſt zumeiſt aus Thénard, Traité de Chimie. 2 Ed. T. II. p. 300 entnommen. Die Angaben rühren zumeiſt von älteren Forſchern her und deshalb ſpricht Thénard Zweifel gegen die Richtigkeit einiger derſelben aus.

***) Handbuch der Chemie. 4. Aufl. Bd. I. S. 265.

ſondern auch das feſte Waſſer flüſſig. Temperaturen, wie dieſe, können nicht mehr mit einem Queckſilberthermometer gemeſſen werden, da dieſes Metall ſich bereits von — 30° an ſehr unregelmäßig zuſammenzieht. Man bedient ſich hier der Weingeiſtthermometer.

Marchand bringt *) die Anwendung von Weingeiſt und Schnee als Kältemiſchung wieder in Erinnerung. Der Schnee ſchmilzt hier ſehr ſchnell, und da das Gemiſch nicht gefriert, bewirkt es eine ſehr niedrige Temperatur. Zuerſt wurde ſolches bemerkt von Tralles **) und vom Apotheker Kindt. Dieſes bequeme und wenig koſtſpielige Mittel, aus dem ſich der Alkohol mit weniger Unbequemlichkeit durch Deſtillation wieder gewinnen läßt, als die ſonſt gebräuchlichen Salze durch Abdampfen, war ganz wieder in Vergeſſenheit gerathen. Bei den Verſuchen von Tralles fiel das Thermometer bei gewöhnlichem Alkohol bis auf — 30° und bei abſolutem bis faſt auf — 37° C. Weniger günſtig der kleinen Mengen wegen, fielen die Verſuche aus, welche Karſten auf Veranlaſſung von Marchand anſtellte. Es wurden hier 100 Grm. Weingeiſt von 0° C. mit 50 Grm. Schnee von gleichfalls 0° gemiſcht und ſchnell umgerührt. Die Reſultate waren folgende:

Alkohol	von 20%	Richter,	Temperaturabnahme	von 8° C.
"	" 30 "	"	"	" 12° C.
"	" 40 "	"	"	" 15° C.
"	" 50 "	"	"	" 16,5° C.
"	" 60 "	"	"	" 18° C.
"	" 70 "	"	"	" 20° C.
"	" 99 "	"	"	" 21° C.

Bei gleichen Theilen Alkohol und Schnee war die Temperaturabnahme durchgehends ungefähr um einen Grad größer. Die höchſten Kältegrade erlangt man bei Anwendung der comprimirten Gaſe, beſonders der feſten Kohlenſäure und des Stickſtoffoxydules; doch hiervon ſoll in dem Artikel Verdunſtungskälte die Rede ſein.

Weniger Anwendung finden wohl die Kältemiſchungen aus Metallen und Queckſilber. Hierüber ſind namentlich von Orioli ***) und Döbereiner ****) Verſuche angeſtellt. Die feſten Amalgame von Blei — 204 Th. aus 103 Th. Blei und 101 Th. Queckſilber — und Wismuth — 172 Th. aus 70 Th. Wismuth und 101 Th. Queckſilber beſtehend, — ſchmelzen, wenn ſie gepulvert mit einander gemiſcht werden; das Thermometer fällt dabei von + 20° auf — 1°. Setzt man dann noch 202 Th. Queckſilber hinzu, ſo findet eine Temperaturabnahme um weitere 7° ſtatt. Orioli erzielte durch das Vermiſchen dieſer beiden Amalgame eine Erkältung von 22°. Beim Auflöſen eines Gemenges aus fein zertheiltem Zinn (59 Th.), Blei (103,5 Th.) und Wismuth

*) Journ. für prakt. Chemie. Bd. XXV. S. 253.
**) A. a. O.
***) Nuov. Collez. di Op. scient. 1823. p. 104. Ferusac, Bullet. des sc. math. phys. et chim. 1825. p. 117.
****) Schweigger's Journ. f. Phyſ. u. Chem. Bd. XLII. S. 182.

(182 Th.) in 808 Th. Queckſilber ſank das Thermometer von + 17,5° bis auf — 10°.

Gay-Luſſac und Karſten haben beobachtet, daß in einigen Fällen auch bei dem Vermiſchen zweier Flüſſigkeiten, ſelbſt wenn zu gleicher Zeit dabei eine Verdichtung eintritt, eine geringe Temperaturabnahme erfolgt. Nach erſterem beträgt die Temperaturerniedrigung beim Vermiſchen von 44 Th. einer geſättigten Löſung des ſalpeterſauren Ammoniaks in Waſſer (ſpec. Gew. = 1,302) mit 34 Th. Waſſer von 16° C. 5°. Karſten erhielt bei ſeinen Verſuchen folgende Reſultate. Mit gleich viel Waſſer giebt eine geſättigte Löſung

von Chlorkalium eine Erkältung von 0,75°
" Kochſalz " " " 0,56°
" Salpeter und ſalpeterſaurem Natron . . . . . " 1,25°.

Miſcht man die Löſungen folgender Salze zu gleichen Theilen mit einander, ſo betragen die Temperaturabnahmen bei Salmiak und Salpeter 0,62°; bei ſchwefelſaurem Kali und Salpeter 0,44; bei Chlorbaryum und Zinkvitriol 2°; bei Salmiak mit überſchüſſigem Kupfervitriol 1,6°.

Von den Reſultaten, die man bei der Anwendung ſolcher Kältemiſchungen erzielte, wollen wir die wichtigſten hier anführen. Von dem Queckſilber glaubte man früher, daß es gar nicht gefriere. Wohl bemerkte Gmelin auf ſeiner Reiſe in Sibirien, daß das Queckſilber im Thermometer gefroren ſei, doch ſchrieb er dies anderen Umſtänden zu. Zum erſten Male brachte es Braun*) in Petersburg 1759 durch eine Miſchung von Schnee und rauchender Salpeterſäure zum Erſtarren, eine Thatſache, die ſo große Aufmerkſamkeit erregte, daß die königliche Geſellſchaft in London Hutchins, Gouverneur des Albany-Forts in der Hudſons-Bay, auftrug, dieſen Verſuch zu wiederholen. Es gelang ihm dies 1775 zwei Mal. Und endlich zeigte Walker 1788, daß das Queckſilber ſelbſt im Sommer und in dem heißeſten Klima mittelſt der Kältemiſchungen auf das Leichteſte zum Erſtarren gebracht werden könne. Wendet man bei dieſen Verſuchen große Mengen des Metalles an, ſo daß im Innern noch ein Theil flüſſig bleibt, ſo findet man nach dem Ausgießen deſſelben auch hier wie beim Schwefel, Antimon, Wismuth ꝛc. deutlich ausgeprägte Kryſtalle (Octaëder). Die große Zuſammenziehung, welche das Queckſilber im Augenblick der Erſtarrung erleidet, gab Braun Veranlaſſung, den Gefrierpunkt deſſelben auf — 213° C. zu ſetzen, während Hutchins**) durch eine große Reihe von Verſuchen den wirklichen Erſtarrungspunkt genau beſtimmte. Kühlt man Ambos und Hammer gleichfalls bedeutend ab, ſo läßt ſich das gefrorne Queckſilber ſtark ausdehnen. Hält man es einige Zeit feſt in der Hand, ſo fühlt man denſelben Schmerz, wie beim Verbrennen. Die Berührungsſtelle wird weiß, unterläuft nachher roth und ſchmerzt mehrere Tage. — Salpeterſäurehydrat wird bei — 40° C. feſt; mit der Hälfte ſeines Gewichtes Waſſer verdünnt gefriert es aber ſchon bei — 17° C. Setzt man aber noch ein wenig Waſſer mehr hinzu, ſo ſinkt der Gefrierpunkt wieder

*) De admirando frigore artificiali, quo mercurius est congelatus. Petrop. 1760.
**) Phil. trans. Vol. LXXIII. P. II.

unter — 40° C. — Rauchende Salpeterſäure ſchießt bei — 40° in rothen Nadeln an und verwandelt ſich in eine Art von Butter. — Concentrirte Salzſäure ſoll nach Fourcroy und Vauquelin gleichfalls bei — 42° leicht in gelben Körnern erſtarren. Stark geſättigte Ammoniakflüſſigkeit ſchießt nach der Beobachtung derſelben Chemiker bei — 42° in weißen Nadeln an und verliert dabei theilweiſe den Geruch. Bei — 47° oder 49° ſoll ſie ſich in eine gallertartige Maſſe verwandeln. Getrocknetes Ammoniakgas wird bei — 40° zu einer farbloſen, leicht beweglichen Flüſſigkeit verdichtet, die bei noch höheren Kältegraden zu einer weißen, kryſtalliniſchen durchſichtigen Maſſe erſtarrt. Wegen der geringen Tenſion bei dieſer niedrigen Temperatur läßt ſich kein Geruch wahrnehmen.

Fourcroy und Vauquelin geben zwar an, daß gut rectificirter Aether bei — 44° in weißen glänzenden Blättern kryſtalliſire und bei noch ſtärkerer Kälte zu einer kryſtalliniſchen Maſſe erſtarre, aber nach Thenard iſt der Aether noch bei — 50° flüſſig, nach Buſſy wird er ſogar bis — 50° noch nicht feſt und nach Hitſchel bleibt er ſelbſt bei — 98°,9 unverändert. Es iſt daher wahrſcheinlich, daß der Aether bei den erſteren Chemikern doch nicht ganz waſſerfrei war. — Alkohol gefriert bei den Temperaturen, die durch die eben angeführten Gemiſche erzielt werden, ebenfalls nicht.

Taucht man den Finger in eine ſolche Kältemiſchung, ſo fühlt man nach Fourcroy und Vauquelin einen Schmerz gleich einem heftigen Drucke im Schraubeſtock. In 4 Secunden wurde der Finger ſo weiß, wie Schnee, er war ohne Empfindung und ließ ſich nur mit Mühe wieder ins Leben bringen.

In der Wiſſenſchaft werden die Kältemiſchungen häufig angewendet bei der Deſtillation ſehr flüchtiger Körper zum Abkühlen der Kolben und Röhren, dann namentlich beim Ueberführen verſchiedener Gaſe in den flüſſigen Zuſtand und namentlich um das Verhalten der einzelnen Körper in der Kälte zu zeigen und zu ſtudiren. Auch im gewöhnlichen Leben finden ſie Anwendung. In Conditoreien und Haushaltungen bereitet man künſtlich wohlſchmeckendes Eis aus Milch, der Zucker, Fruchtſäfte, Gewürze ꝛc. zugeſetzt werden, dadurch, daß man dieſes Gemiſch in zinnernen Büchſen in geſtoßenes Eis und Kochſalz ſtellt und raſch umdreht, um die Bildung größerer Kryſtalle beim Feſtwerden zu verhindern. Auch in der Medicin bedient man ſich der Kältemiſchungen als Erſatzmittel des Eiſes bei verſchiedenen Krankheiten, namentlich des Gehirnes. Doch hat die Anwendung hier mancherlei Nachtheile und oft iſt ſie der Säuren und Salze wegen ganz zu unterlaſſen. Daher hat man namentlich in Frankreich, wo nicht alle Jahre die Eiskeller gefüllt werden können, durch wiederholte Preisfragen der Société d'encouragement dazu aufgefordert, viele Verſuche angeſtellt, um Waſſer auf künſtlichem Wege und mit wenig Koſten gefrieren zu machen und ſo der Haushaltung und der Medicin die Annehmlichkeiten des Eiſes zu verſchaffen. Es ſind zu dieſem Zwecke eine Menge von Verfahren und Apparaten angegeben worden, von denen wir die hauptſächlichſten erläutern wollen.

Malapert *) hat einen einfachen Apparat beſchrieben, in welchem er Eis

*) Ann. der Pharmac. Bd. XVIII. S. 351.

erzeugte, während derſelbe in kochendes Waſſer tauchte, — ein Verſuch, der in ſofern intereſſant iſt, als er zeigt, daß man bei jeder niedrigeren Temperatur um ſo leichter denſelben Zweck erreichen muß. Bei folgendem Verfahren kann man das Eis ſchnell und in großer Menge bereiten. Man nimmt eine 15″ hohe, 12″ lange und 8″ breite Schachtel, am beſten von weißem Pappelholz, welche inwendig, 6‴ vom Rande mit einem Drahtnetz verſehen iſt. In das Drahtnetz paßt eine zweite Schachtel von Blech, die 12″ hoch, 6″ lang in der Oeffnung, 5″ unten, 3″ breit oben und etwas ſchmäler nach unten iſt. Den Raum zwiſchen Netz und Rand füllt man mit Baumwolle aus. Auf dieſe Schachtel paßt ein ähnlich conſtruirter und ausgefütterter doppelter Deckel. Das Waſſer, das in Eis verwandelt werden ſoll, bringt man in zwei Büchſen von Blech, die 12″ hoch, oben 4″ 8‴ lang, nach unten etwas kürzer werdend, und an der Oeffnung 7‴, unten aber 5‴ breit ſind. Alle Theile des Apparates überzieht man mit einem Firniß aus Sandarak (3 Th.), Terpentin und Alkohol von 36° (von jedem 8 Th.), um ihn gegen die Säure zu ſchützen.

Zur Füllung der Schachtel braucht man 6 Pfund 12 Unzen Glauberſalz und $4^1/_2$ Pfund Schwefelſäure von 45°. In jede der Büchſen bringt man ein Pfund Waſſer, das, wenn man 2 bis 3 Mal ſchnell öffnet und das Gemenge umrührt, in 40 Minuten gefroren iſt. In der einen Büchſe kann man noch einmal in derſelben Miſchung $^1/_2$ Pfund Waſſer in Eis verwandeln. Nimmt man nur eine Büchſe von der doppelten Breite, ſo gefrieren die zwei Pfund Waſſer erſt in beinahe zwei Stunden, wegen der Dicke aber widerſteht die Eismaſſe länger dem Schmelzen. — Mit 8 Büchſen, alſo in vier ſolchen Apparaten, erhält man in 45 Minuten 10 Pfund Eis.

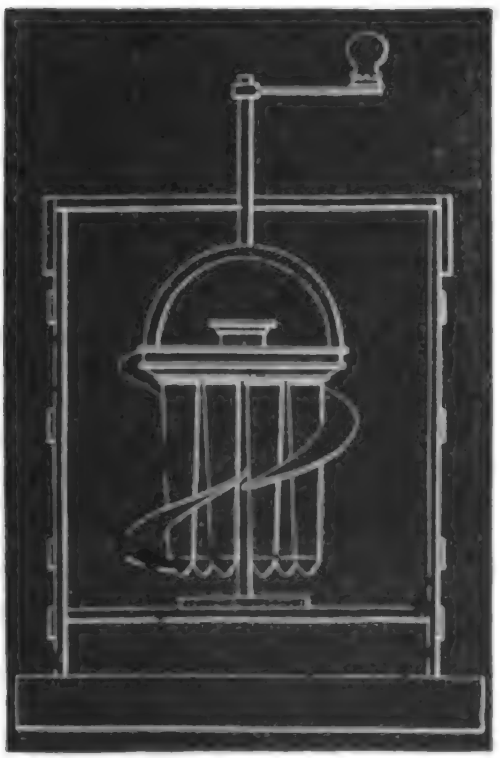
Zur Verſendung des Eiſes bedient man ſich nach Malapert am beſten einer ovalen Schachtel von Eiſenblech, welche 14″ lang, im größten Durchmeſſer $5^1/_2$″ und im kleinſten 2″ breit iſt. Dieſe ſetzt man in eine größere Schachtel von Pappe, welche mit Filz ausgefüttert iſt. Zwiſchen die doppelten Deckel legt man Kiſſen von Baumwolle und überzieht das Ganze außen 5 bis 6 Mal mit Firniß. Bei einer Temperatur von + 15° waren 2 Pfunde Eis hierin erſt nach 38 Stunden vollſtändig geſchmolzen. Bei einem zweiten Verſuch trug man $1^1/_2$ Pfund Eis darin $10^3/_4$ Stunden lang in einer Sonnenhitze von + 28° herum, während welcher Zeit die Schachtel ſiebenmal geöffnet und $4^1/_2$ Unze Eis herausgenommen wurden. Nach Verlauf der angegebenen Zeit fand man noch 2 Unzen Eis vor. — Die Schachtel faßt aber 4 bis 5 Pfund Eis; iſt ſie daher ganz gefüllt, ſo hält ſich der Inhalt verhältnißmäßig noch viel länger.

Boutigny*) erhielt mit 14 Pfd. einer Kältemiſchung — aus 12 Th. Schwefelſäure von 41° B. und 16 Th. Glauberſalz beſtehend, — deren Beſtandtheile eine Temperatur von + 10° C. zeigten und die er in 2 Theilen nach einander anwandte, in 40 bis 50 Minuten 3 Pfund Eis. Er macht hierbei auf einen wichtigen Handgriff aufmerkſam, ohne den das Waſſer nur ſehr ſchwierig gefriert. Er drückt die Seitenwände der dünnen, ſchmalen, vierſeitigen und hohen Blechbüchſen, die in einen hölzernen, die Kältemiſchung enthaltenden Eimer geſtellt

*) Dingler's polytechniſches Journal. Bd. XCI. S. 209.

werden, durch eine eiſerne Klammer zuſammen und entfernt dieſe, ſobald ein Theil des Waſſers gefroren iſt. Dadurch kommt neues Waſſer mit den Wandungen in Berührung und gefriert vollſtändig, wenn man die Büchſen von Neuem in eine Kältemiſchung ſtellt.

Bei dem zunehmenden Verbrauch des Eiſes nicht nur für den Luxus der Tafel, ſondern auch zum Conſerviren der Nahrungsmittel und für ärztliche Zwecke ſtellte die Société d'encouragement 1846 abermals einen Preis für einen Apparat, der auf eine ſchnelle, wohlfeile und einfache Weiſe das Waſſer gefrieren mache. Allen dieſen Bedingungen entſprach ein Apparat von Goubaud *). Der Ausſchuß der Geſellſchaft iſt der Meinung, daß dieſer Apparat nicht nur in Haushaltungen, ſondern auch am Bord der Schiffe vielfach in Gebrauch kommen und auch bald nicht mehr im Koffer des Touriſten fehlen werde. Goubaud wendet hierbei ſieben um eine Axe ſenkrecht von einander getrennt aufgeſtellte Büchſen aus reinem, ſehr dünnen Zinn an, die oben in einer gemeinſchaftlichen Doſe enden und mit einem gemeinſchaftlichen Deckel verſchloſſen, in dem die Kältemiſchung enthaltenden Eimer ſtehen. Senkrecht auf die Axe, die Büchſen ſchraubenförmig umgebend, iſt ein breiter Blechſtreifen angelöthet, der beim Umdrehen als Rührer für die Kältemiſchung dient.



Die Anordnung des ganzen Apparates wird durch die nebenſtehende, leicht verſtändliche Zeichnung anſchaulich gemacht. Ein ſolcher Apparat koſtet 10 Thaler. Als Kältemiſchung dienen hier Ammoniakſalze, die jedoch nicht näher bezeichnet werden; wahrſcheinlich ſalpeterſaures Ammoniak, und Salmiak. 5 Pfund derſelben, zu einem Preiſe von $2^1/_2$ Thalern, mit 10 Pfund Waſſer gemengt, ſollen 1 Pfund Eis innerhalb 15 Minuten liefern und bei Wiedergewinnung der Salze ſollen die Productionskoſten des Eiſes nur $2^3/_4$ Neugroſchen betragen.

Wohlfeiler iſt der von Filhol **) conſtruirte Apparat. Er koſtet nur 16 Francs. Die Axe zweier in einander ſtehender zinnerner Cylinder paßt in eine am Boden des die Kältemiſchung enthaltenden Fäßchens befindliche Höhlung. Das zu gefrierende Waſſer befindet ſich in dem durch die beiden Cylinder gebildeten ringförmigen Raume. Mittelſt einer auf der Axe befeſtigten Kurbel läßt ſich der

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CII. S. 223.
**) Journ. de chim. méd. 1846. Novbr. p. 669.

Cylinder, an dem noch eine Rührvorrichtung angebracht iſt, in eine ſchnelle rotirende Bewegung verſetzen. Um das Eis leicht aus dem Cylinder entfernen zu können, läßt man einen kleinen, mit zwei Metallſtangen verbundenen Blechreif in das Waſſer hinab. Als Kältemiſchung wendet man hier 800 Grm. Glauberſalz und 500 Grm. Salzſäure oder ſalpeterſaures Ammoniak und Waſſer von jedem 1 Kilogrm. an. Jede Operation erfordert 3 Portionen der Miſchung und liefert 1 Kilogrm. Eis.

Fumet fertigt ſeinen bereits Bd. II. S. 615 beſchriebenen Apparat in verſchiedenen Größen und daher auch zu verſchiedenen Preiſen an. Ein ſolcher, der 1 Kilogrm. Eis liefert, koſtet 10 Francs, der Gefrornes und Sorbets für 10 Perſonen liefert, 15 Frcs.; Apparate, die das Doppelte leiſten, koſten reſp. 15 und 20 Frcs. Ein Kilogramm der Kältemiſchung koſtet 60 Cent. und ein Kilogramm Eis 1 Franc 20 Cent. Trotz dieſer hohen Preiſe ſollen die Reſultate für die Haushaltungen wenigſtens eben ſo vortheilhaft ſein als mit den Apparaten und nach dem Verfahren der Conditoren in Paris, welche zu ihrer Kältemiſchung das Kilogramm Eis mit 20 Cent. und den Salpeter mit 30 Cent. bezahlen.

In Frankreich ſind dergleichen Apparate vielfach in den Gebrauch gekommen. Aber bei alledem ſcheint es nach den hier erörterten Koſten, daß die künſtliche Eisbereitung in nördlichen Gegenden, wo der Winter einen hinreichenden Vorrath an Eis liefert, ſtets theurer bleiben wird, als die Anlegung zweckmäßiger Eiskeller. Für ſüdlichere Gegenden hingegen, in denen bei der größeren Hitze Gefrornes ein dringenderes Bedürfniß iſt, wie bei uns, gewähren dieſe Apparate bedeutende Annehmlichkeiten.

Bolley macht *) auf einen eigenthümlichen Vorgang bei der Kältemiſchung aus Glauberſalz und Salzſäure, die der geringen Koſten wegen häufig verwendet wird, aufmerkſam. Miſcht man beide zuſammen und fehlt es nicht an Säure; ſo wird die anfangs glasdurchſichtige Maſſe milchig weiß, von kleinen Körnern eines ausgeſchiedenen Salzes, das nach dem Abwaſchen als faſt reines Kochſalz erkannt wurde, während die Löſung doppelt ſchwefelſaures Natron enthielt. Wendet man ſtatt der Salzſäure Salpeterſäure an, ſo erhält man ſalpeterſaures Natron, jedoch nicht in ſo reichlichen Mengen wie das Kochſalz. Erwärmt man das Gemiſch von Glauberſalz und Salzſäure, ſo löſt ſich das Kochſalz auf und ſchießt beim langſamen Erkalten in großen, ſehr regelmäßigen Würfeln an. Beim fortgeſetzten Erwärmen dampft erſt überſchüſſige Salzſäure und Waſſer ab und es bedarf einer ſtärkern Concentration und Hitze, um das Kochſalz wieder zu zerlegen.

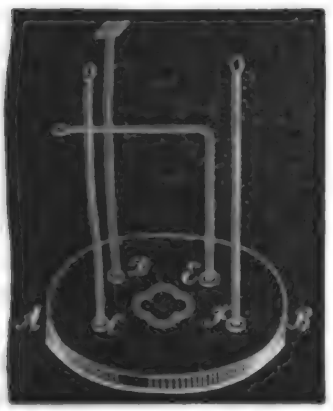
Dieſer Vorgang iſt ſehr gut geeignet, um in Vorleſungen die Gregory'ſche Vorſchrift zur Darſtellung der Salzſäure **) zu rechtfertigen. Er zeigt direct, daß aus freier Salzſäure und Glauberſalz doppeltſchwefelſaures Natron und Kochſalz gebildet wird. Eben dieſe Bildung veranlaßt aber die Anwendung eines doppelten Miſchungsgewichtes an Schwefelſäure auf ein Miſchungsgewicht Kochſalz. W. B.

---

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXV. S. 241.
**) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XLII. S. 375.

Kaleidophon (v. d. griech. *καλός*, ſchön, *εἶδος*, Geſtalt und *φωνέω*, ich töne), auch phoniſches Kaleidoſkop (ſ. Art. Kaleidoſkop) genannt, iſt ein von Wheatſtone *) angegebenes Inſtrument, bei ſchwingenden Körpern, — an einem Ende feſtgehaltenen, am anderen Ende freien Stäben — die Bahnen der Punkte der größten Ausbiegung ſichtbar zu machen.

Der Apparat (ſ. beiſtehende Figur) beſteht aus einer kreisförmigen Baſis von Holz AB, etwa 9 Zoll im Durchmeſſer und einen Zoll dick, mit vier meſſingenen Schraubenmuttern, die bei C, D, E und F feſt eingeſetzt ſind. In dieſe Muttern ſchraubt man vier ſenkrechte Stahlſtäbe von 13 bis 14 Zoll Länge und etwa 0,1 Zoll Dicke. Der Stab bei C iſt rund und gerade, der bei E iſt rechtwinkelig gebogen, und beide tragen an ihren Enden etwa 0,4 Zoll im Durchmeſſer haltende, mit Queckſilber inwendig belegte Glaskügelchen. Der Stab bei D iſt vierkantig und trägt eine bewegliche, ſchief oder lothrecht ſtellbare, ebene Platte, welche auf geſchwärzter Fläche verſchiedenfarbige, ſymmetriſch geordnete Knöpfe trägt. Der Stab F iſt rund, wie der in C, aber von anderem Durchmeſſer und trägt entweder ein Glaskügelchen wie der Stab C, oder eine Platte, wie der Stab D.



Setzt man einen der Stäbe durch einen mit Leder überzogenen Hammer oder durch einen Violinbogen in Schwingungen, ſo bildet der Endpunkt, indem er das darauf fallende Licht reflectirt, und da der Eindruck im Auge länger dauert, als die Schwingung Zeit erfordert, ſtetige, in ſich zurückkehrende Lichtlinien, die ſich unabläſſig verändern. Jeder verſchiedene Stab giebt eine verſchiedene Linie, und eben ſo derſelbe Stab, je nach der Stelle, an welcher er angeſchlagen oder geſtrichen wird. Am beſten gelingt der Verſuch im Sonnenlichte, welches man durch eine Oeffnung im Fenſterladen einfallen läßt, weil dies intenſiv iſt und dann das Auge von keinem anderen Lichte afficirt wird. Die zuſammengeſetzteſten Curven erhält man an den Stäben, welche eine ſchrägſtehende Platte mit mehreren reflectirenden Punkten tragen, zumal wenn der Stab nicht blos nach ſeiner ganzen Länge, ſondern auch nach kürzeren Abtheilungen ſchwingt.

Kaleidoſkop (v. d. griech. *καλός*, ſchön, *εἶδος*, Geſtalt und *σκοπέω*, ich ſehe), Schöngucker, iſt ein von Brewſter **) im Jahre 1817 erfundenes Spielwerk, auf welches er ſogar ein Patent löſte, das ihm bedeutende Vortheile einbrachte.

Zwei ebene rechteckige Spiegel werden unter einem Winkel, welcher $^1/_6$, $^1/_8$, $^1/_{10}$ ꝛc. von 4 Rechten beträgt, an die innere hohle Seite eines aus Pappe oder aus verzinntem Bleche gefertigten Rohres von 8 bis 10 Zoll Länge befeſtigt, ſo daß die Spiegelflächen einander entgegenſtehen. Die eine (obere) Oeffnung des

*) Pogg. Ann. Bd. X. S. 470; Schweigger's Journ. Bd. L. S. 490; Quarterly Journal of Science. New Ser. T. II. p. 344.

**) Gilbert's Ann. Bd. LIX. S. 347.

Rohres ist bis auf eine kleine kreisrunde Oeffnung, welche beim Gebrauche des Instrumentes vor das Auge gebracht wird, verschlossen. Am anderen Ende des Rohres befindet sich dicht an den nicht ganz bis an das Ende des Rohres reichenden Spiegeln ein helles, ebenes, rundes, das Rohr verschließendes Glas und in geringem Abstande von diesem Glase ist parallel mit demselben noch ein zweites, mattgeschliffenes, ebenes Glas, welches das Rohr an diesem Ende schließt, angebracht. Zwischen beide, etwa eine Linie von einander abstehende Gläser werden allerhand kleine, am besten bunte, durchsichtige oder durchscheinende Körper gebracht, welche nun beim Drehen und leisen Schütteln des Instrumentes verschiedene Lagen gegen einander einnehmen. Das Auge, welches durch die angegebene Oeffnung sieht und das Rohr gegen das Tageslicht kehrt, erblickt bei jeder Lage der Körperchen die regelmäßigsten, bald vom Mittelpunkte ausgehende, bald vom äußeren Umfange nach diesem hin sich erstreckende Sterne.

Die beiden Spiegel verfertigt man am zweckmäßigsten aus ebenen reingeschliffenen Glasplatten, deren Hinterfläche schwarz lackirt ist. Gewöhnliche Spiegel, deren Hinterfläche belegt ist, geben, wenn der Gegenstand dem Glase sehr nahe steht und das Auge unter einem sehr kleinen Winkel zur Glasfläche gerichtet ist, was Beides hier eintritt, doppelte Bilder durch die Reflexion an der Vorder- und Hinterseite, wodurch die Erscheinungen am Kaleidoskop verundeutlicht werden; die angegebenen geschwärzten Spiegel thun dies nicht, die von ihnen gegebenen Bilder sind aber dafür freilich etwas matter als bei belegten Spiegeln *).

Die Entstehung dieser Sterne ergiebt sich durch folgende Betrachtung. Befindet sich ein Körper zwischen zwei geneigten Spiegeln, so giebt er in jedem derselben ein Bild, welches hinter dem einen und dagegen vor dem anderen liegt und folglich für letzteren ein wahrhafter Gegenstand ist. Daraus folgt in diesem Spiegel ein zweites Bild, welches in dem ersten ein drittes Bild geben kann und so fort. Allein diese Bilder entfernen sich immer mehr und mehr von dem Gegenstande und fallen endlich in den Gegenwinkel (Scheitelwinkel) der Spiegel, also hinter jeden derselben, sie werden mithin unwirksam, d. h. unfähig andere zu liefern. Diese einfache Bemerkung zeigt sogleich, daß, wie auch der Winkel der Spiegel sein möge, die Anzahl der Bilder nothwendig eine begrenzte ist. Umstehende Figur wird dies noch anschaulicher machen. Es seien AB und BC die unter 60° geneigten Spiegel und in 1 befinde sich ein Gegenstand zwischen denselben. Da bei einem ebenen Spiegel das Bild eben so weit hinter demselben

*) Ein wahres Prachtexemplar eines Kaleidoskops hat der Bearbeiter dieses Artikels bei Herrn Prof. Dove in Berlin zu sehen Gelegenheit gehabt. Auf einem Dreifuße stand das Rohr, wie ein Fernrohr; daſſelbe mochte 4 Zoll im Durchmesser halten und 9 bis 10 Zoll lang sein. Die Spiegel waren durch eine Mikrometerschraube verstellbar, und der die Objective enthaltende Raum konnte mittelst in einandergreifender Räder durch einen nach dem Ocularende gehenden Griff für sich gedreht werden, ohne die Stellung des Rohres, also der Spiegel, zu verändern. Die Objecte waren verschiedenfarbige, in regelmäßige Formen geschliffene Gläser: Dreiecke, Quadrate, Halbmonde u. dergl., außerdem befanden sich unter ihnen Glasstäbchen, welche wellenförmig gebogen waren u. s. f. Der Effect war wundervoll, da man die Stellung der Spiegel und die Lage der Objecte so leicht ändern konnte, und wurde noch erhöht durch einen Spiegel, welcher neben dem Objectende angebracht war und so gestellt werden konnte, daß reflectirtes Licht auf die Objecte fiel. Die Sterne zeigten alsdann den schönsten Brillantglanz.

liegt, wie der Gegenſtand vor demſelben ſteht, ſo erhalten wir ein Bild hinter AB in 2, wenn Perpendikel d 2 = d 1 iſt, eben ſo ein Bild hinter BC in 3, wenn e 3 = e 1 iſt; das Bild 2 wirkt wie ein Gegenſtand auf den Spiegel BC und giebt ein Bild 4, wenn f 4 = f 2 iſt,, eben ſo giebt Bild 3 in dem Spiegel AB ein Bild 5, wenn g 5 = g 3 iſt; das Bild 4 giebt wiederum ein Bild in dem Spiegel AB in 6, wenn h 6 = h 4 iſt und eben ſo das Bild 5 in dem Spiegel BC ebenfalls ein Bild in 6, wenn k 6 = k 5 iſt. Nun läßt ſich leicht zeigen, daß die Bilder 2, 3, 4, 5, 6 auf einem Kreiſe um den Mittelpunkt B liegen, deſſen Halbmeſſer = B 1 iſt, da B 1 = B 2 = B 3 ꝛc. ſein muß, ferner daß die von 4 und 5 entſtandenen Bilder für ∠ ABC = 60° zuſammenfallen müſſen. Nun liegt aber das Bild 6 ſowohl hinter dem Spiegel AB als hinter BC, folglich kann dies Bild 6 keine neuen Bilder weiter erzeugen, ſo daß bei ſo geſtellten Spiegeln das Auge den Gegenſtand ſechsmal ſehen würde, nämlich 5 Bilder und ihn ſelbſt einmal. Bei einem Winkel von 30° würde man 11 Bilder erhalten und den Gegenſtand alſo 12 Mal ſehen. Läge nun ein kleiner Körper dicht an dem Spiegel AB, ſo läge auch ſein Bild dicht an der Hinterfläche von AB, Bild und Gegenſtand würden einen einzigen Sternzacken bilden; eben ſo würden Bild 3 und 4 dicht neben einander liegen und einen zweiten Zacken bilden; wir ſehen alſo, daß ſich der Gegenſtand mit ſeinen 11 Bildern zu einem ſechszackigen Sterne zuſammenſetzen würde. Ein Winkel ABC = 15° würde eben ſo einen zwölfzackigen Stern bilden u. ſ. f.

Ueberhaupt wenn zwei ebene Spiegel unter irgend einem Winkel zuſammengeſtellt ſind, ſo iſt die Anzahl der durch dieſelben erzeugten Bilder eines zwiſchen ihnen befindlichen leuchtenden Punktes L im Allgemeinen von der Größe des Winkels und von der Lage des Punktes zwiſchen den beiden Spiegeln abhängig. Bezeichnet man den Winkel der Spiegel mit $\varphi = \frac{\pi - \psi}{n}$ oder $\pi = n\varphi + \psi$, wo n eine ganze Zahl, ψ poſitiv und $< \varphi$ iſt, und vorausgeſetzt wird, daß $\varphi < \pi$, da für den Fall $\varphi > \pi$ gar keine Schwierigkeit obwaltet, ſo iſt die Anzahl der Bilder, den leuchtenden Punkt eingerechnet,

$$= 2n, \text{ oder } = 2n + 1, \text{ oder } = 2n + 2, \text{ oder } = 2n + 3.$$

Für jeden beſonderen Werth des Winkels φ finden nur zwei dieſer Werthe ſtatt, und zwar iſt im Allgemeinen, wenn $\psi < {}^1/_2\,\varphi$ iſt, die Anzahl der Bilder $= 2n + 1$ oder $= 2n + 2$; und wenn $\psi > {}^1/_2\,\varphi$ iſt, $= 2n + 2$ oder $= 2n + 3$; welcher der beiden Zahlen in jedem Falle die Anzahl der Bilder gleich iſt, hängt von der Lage des Punktes L ab. — In dem Grenzfalle, daß $\psi = 0$ iſt, reducirt ſich die Anzahl der Bilder immer auf $2n$, und iſt alſo von der Lage des Punktes zwiſchen den beiden Spiegeln unabhängig. In dem Grenzfalle $\psi = {}^1/_2\,\varphi$ iſt die Anzahl der Bilder $= 2n + 2$ mit Ausnahme des einen

Falles, daß der Punkt L von beiden Spiegeln gleich weit entfernt iſt, in welchem ſich die Anzahl auf $2n + 1$ reducirt.

Die näheren Beſtimmungen ſind in Folgendem enthalten. Theilt man den Winkel der beiden Spiegel durch zwei Ebenen, von welchen die eine mit dem einen Spiegel, die andere mit dem anderen Spiegel den Winkel ψ bildet, in drei Theile, ſo kann man die drei Winkel in zwei äußere und einen mittleren unterſcheiden. Liegt der leuchtende Punkt in einem der äußeren Winkel, ſo iſt die Anzahl der Bilder $= 2n + 2$; liegt er in dem mittleren Winkel, ſo iſt ſie $= 2n + 1$, wenn $\psi < {}^1/_2\,\varphi$ iſt; und $= 2n + 3$, wenn $\psi > {}^1/_2\,\varphi$ iſt; liegt er auf der Grenze zwiſchen einem äußeren und dem mittleren Winkel, ſo iſt die Anzahl der getrennten Bilder $= 2n + 1$, wenn $\psi < {}^1/_2\,\varphi$ iſt, und $= 2n + 2$, wenn $\psi > {}^1/_2\,\varphi$ iſt. Für $\psi = {}^1/_2\,\varphi$ oder $\psi = 0$ ſind die betreffenden Zahlen ſchon vorher gegeben.

Da der Gegenſtand ein Eingehen in die Entwickelung dieſer Geſetze nicht nöthig erſcheinen läßt, ſo begnügen wir uns mit dem Hinweis auf die Arbeiten von Gallenkamp *) und Weiß **); eine Abhandlung von Bertin ***) iſt nicht erſchöpfend. H. G.

Kalender (v. d. lat. Calendae, bei den Römern der Name des erſten Tages eines jeden Monats, und dieſe Bezeichnung ſtammt wieder ab von dem griech. καλέω, ich rufe, weil an dieſem Tage durch einen Prieſter der Eintritt des Neumondes verkündigt wurde) iſt erſtens die Zeiteintheilung nach Jahren, Monaten ꝛc., wie ſie bei verſchiedenen Völkern für das bürgerliche Leben eingeführt iſt, zweitens ein dieſer Eintheilung gemäßes Regiſter der einzelnen einem beſtimmten Jahre zukommenden Tage.

A. Wie die bürgerlichen Verhältniſſe die verſchiedenen Völker zu beſtimmten Zeiteintheilungen hindrängten, wie dieſe mit der Zeit Verbeſſerungen nöthig machten, und wir zu dem bei uns gebräuchlichen Gregorianiſchen Kalender gekommen ſind, darüber verweiſen wir auf den Art. Jahr. In demſelben Artikel iſt auch das Nöthige über die Unterabtheilungen des Jahres, die Monate, erwähnt, ſo daß an dieſer Stelle nur in Betreff der Wochen die Bemerkung nöthig ſein dürfte, daß dieſe Unterabtheilung der Monate aus der hebräiſchen Zeitrechnung herrührt, in welche ſie zufolge der religiöſen Einrichtungen der Juden kam, wiewohl es auch nicht unwahrſcheinlich iſt, daß die letzteren von den Aegyptiern dieſe kürzere Periode annahmen. Die Woche iſt ohne allen Zweifel ****) eine Unterabtheilung des ſynodiſchen Monates.

B. Ueber den Sonnencyclus, nach deſſen Verlauf (28 Jahre) dieſelben Monatstage auf dieſelben Wochentage fallen, den Mondcyclus, nach deſſen Verlauf (19 Jahre) die Mondphaſen in derſelben Weiſe, wie bei den früheren Mondcyclen, wiederkehren, die goldene Zahl, welche angiebt, das wievielte Jahr des Mondcyclus ein jedes Jahr ſei, den Indictionscyclus

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 588.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXXIV. S. 145.
***) Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 288; Ann. de chim. et de phys. Sér. III. T. XXIX. p. 257.
****) Ideler, Handbuch der Chronologie. Berlin 1830. Bd. I. S. 60.

(15 Jahre) ſ. d. Art. Cyclus, Bd. I. S. 1016; eben ſo über die Epakte, die Zahl, welche die Anzahl der Tage angiebt, um welche der letzte Neumond im vorhergehenden Jahre dem Neujahrstage des betreffenden Jahres vorausgegangen iſt, ſ. Art. Epakte, Bd. II. S. 855. Der Sonntagsbuchſtabe giebt, wenn alle Tage des Jahres vom erſten bis zum letzten mit A B C D E F G A B ꝛc. bezeichnet werden, den Buchſtaben des erſten Sonntages im Jahre an. Im Jahre 1855 iſt alſo im curſirenden Gregorianiſchen Kalender G der Sonntagsbuchſtabe, weil der 7. Januar, d. h. der ſiebente Tag des Jahres ein Sonntag iſt. Im Jahre 1856 fällt der erſte Sonntag auf den 6. Januar, ſo daß der Sonntagsbuchſtabe F wird; da aber der Schalttag (24. Februar) — ſ. Artikel Jahr — wie der 24. Februar jedesmal mit F bezeichnet wird, ſo rücken die Tage nach dem Schalttage gegen die des gemeinen Jahres um eine Stelle fort, und der Sonntagsbuchſtabe wird alſo für die Tage nach dem Schalttage E. Jedes Schaltjahr hat mithin zwei Sonntagsbuchſtaben, und in der Reihe der Jahre ſpringt daher nach jedem Schaltjahre der Sonntagsbuchſtabe um 2 Buchſtaben zurück, während dies ſonſt nur um einen Buchſtaben geſchieht. Der Sonntagsbuchſtabe für 1857 wird mithin D ſein.

Für das gegenwärtige Jahrhundert gilt folgende Tafel, in welcher die Sonntagsbuchſtaben mit den Jahren des Sonnencyclus zuſammengeſtellt ſind:

1. E. D.	8. C.	15. A.	22. F.
2. C.	9. B. A.	16. G.	23. E.
3. B.	10. G.	17. F. E.	24. D.
4. A.	11. F.	18. D.	25. C. B.
5. G. F.	12. E.	19. C.	26. A.
6. E.	13. D. C.	20. B.	27. G.
7. D.	14. B.	21. A. G.	28. F.

In dem Gregorianiſchen Kalender ſind die Tafeln für die Sonntagsbuchſtaben für die einzelnen Jahrhunderte verſchieden, da in je 4 Jahrhunderten 3 Schalttage ausfallen, was im Julianiſchen Kalender nicht geſchieht. (Vergl. Artikel Jahr.)

Das wievielte Jahr eines Sonnencyclus ein gewiſſes Jahr unſerer Zeitrechnung ſei, findet man nach der Bd. I. S. 1017 im Art. Cyclus angegebenen Weiſe. So z. B. iſt 1856 das 17. Jahr des Sonnencyclus, da $\frac{1856 + 9}{28}$ als Reſt 17 läßt; der Sonntagsbuchſtabe deſſelben folglich F und E, d. h. 1856 iſt ein Schaltjahr und da F der ſechſte Buchſtabe iſt, ſo fällt der erſte Sonntag auf den 6. Januar. In dem ſogenannten (am Schluſſe dieſes Artikels angehängten) immerwährenden Kalender ſind die Monatstage mit den Buchſtaben A bis G zuſammengeſtellt, und man weiß nun, daß wenn, wie im Jahre 1855, der Sonntagsbuchſtabe G iſt, alle Tage des Jahres, bei denen G ſteht, Sonntage ſind, alle Tage, bei denen A ſteht, Montage u. ſ. f. Eben ſo weiß man, daß wenn, wie im Jahre 1856, F und E Sonntagsbuchſtaben ſind, alle vor dem 24. Februar mit F und alle nach dem 24. Februar mit E bezeichneten Tage Sonntage ſind; alle Tage vor dem 24. Februar, bei denen G ſteht, aber alle nach dem 24. Februar, bei denen F ſteht, Montage u. ſ. f.

Mit Hülfe des immerwährenden Kalenders bestimmt man die Neumondstage so, daß man die goldene Zahl des betreffenden Jahres nach der im Art. Cyclus Bd. I. S. 1016 angegebenen Weise sucht, z. B. für 1855 = 13, da $\frac{1855 + 1}{19}$ den Rest 13 giebt, und hierzu aus dem folgenden Epaktentäfelchen (vergl. Art. Epakten) die Epakte nimmt, also für 13 = XII. Alle Monatstage im immerwährenden Kalender, neben denen diese Zahl steht, sind Neumonde, oder die genaue astronomische Bestimmung trifft wenigstens nahe damit zusammen, da es bei dieser auf den Meridian ankommt.

Goldene Zahl	Epakte	Goldene Zahl	Epakte
1 . . .	0 oder *	11 . . .	XX.
2 . . .	XI.	12 . . .	I.
3 . . .	XXII.	13 . . .	XII.
4 . . .	III.	14 . . .	XXIII.
5 . . .	XIV.	15 . . .	IV.
6 . . .	XXV.	16 . . .	XV.
7 . . .	VI.	17 . . .	XXVI.
8 . . .	XVII.	18 . . .	VII.
9 . . .	XXVIII.	19 . . .	XVIII.
10 . . .	IX.		

In Betreff dieser Tabelle bemerken wir, — da im Artikel Epakte dieser Gegenstand keine Erledigung gefunden hat, und der Art. Goldene Zahl, auf welchen dort Bezug genommen wurde, ausgefallen ist — daß dieselbe in folgender Weise ihre Rechtfertigung findet. In den Jahren, deren goldene Zahl 1 ist, fällt bekanntlich der Neumond auf den Neujahrstag, und die Epakte ist dann 0 oder *. Die Epakten der folgenden Jahre sind nun leicht zu bestimmen, wenn man bedenkt, daß ein Mondjahr ungefähr $354^1/_4$ Tag hat, während ein Sonnenjahr $365^1/_4$ Tag zählt (vergl. Art. Jahr), das Sonnenjahr also um 11 Tage länger als das Mondenjahr ist. Um ein Mondenjahr zu einem Sonnenjahre zu ergänzen, müssen (falls beide an demselben Tage angefangen haben) also zu seiner Zahl von $354^1/_4$ Tagen noch 11 Tage hinzukommen, worauf sich auch der Name Epakte bezieht. Das Jahr, welches auf das mit der goldenen Zahl 1 folgt, d. h. jedes Jahr, dessen goldene Zahl 2 ist, hat hiernach die Epakte XI. Jedes folgende Jahr wachsen die Epakten in entsprechender Weise wiederum um 11 Tage, und hiernach entspräche der goldenen Zahl 3 die Epakte XXII., der goldenen Zahl 4 die Epakte XXXIII. Hierbei ist aber zu bedenken, daß innerhalb dieser 33 Tage schon ein Neumond eingetreten ist und zwar am 30. Tage, wir erhalten also statt XXXIII. die Epakte III., nämlich 33 — 30. In dieser Weise ergeben sich die in der Tabelle neben den goldenen Zahlen stehenden Epakten.

Das Osterfest fällt bekanntlich immer auf den ersten Sonntag nach dem ersten Vollmonde, welcher auf die Frühlings-Tag- und Nachtgleiche folgt. Die Frühlingsnachtgleiche (vergl. Art. Nachtgleiche) ist an dem 21. März. Im Jahre 1855 fällt also der erste Vollmond, der 13 Tage nach dem vorhergehenden Neumonde folgt, auf den 1. April nach dem immerwährenden Ka-

lender (nach Berliner Zeit auf den 2. April 3^h 15′ Nachmittags); der nächstfolgende Sonntag iſt alſo der Oſterſonntag und folglich weil der Sonntagsbuchſtabe G iſt, der 8. April. Da der erſte April auch ein Sonntag iſt und alſo nach dem immerwährenden Kalender der Oſtervollmond auf einen Sonntag trifft, ſo macht ſich hier zugleich die Regel bemerkbar, daß in einem ſolchen Falle die Oſterfeier bis auf den nächſten Sonntag verſchoben wird.

Die übrigen chriſtlichen Feſttage richten ſich entweder nach dem Oſterfeſte, oder fallen auf beſtimmte Tage.

Ueber die näheren Beſtimmungen der Zeit und des Mondumlaufes ſ. d. Art. Zeit und Mond; über die Literatur findet ſich das Weſentlichſte im Art. Chronologie, und hier heben wir nur wegen der Anfertigung eines Kalenders noch beſonders hervor: J. J. Littrow's Kalendariographie ꝛc. Wien 1828. Schließlich geben wir noch den immerwährenden Gregorianiſchen Kalender, deſſen Einrichtung und Gebrauch nach dem Vorhergehenden keiner weiteren Erläuterung bedarf.

Immerwährender Gregorianiſcher Kalender.

	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni
1.	A. *.	D. XXIX.	D. *.	G. XXIX.	B. XXVIII.	E. XXVII.
2.	B. XXIX.	E. XXVIII.	E. XXIX.	A. XXVIII.	C. XXVII.	F. XXVI.
3.	C. XXVIII.	F. XXVII.	F. XXVIII.	B. XXVII.	D. XXVI.	G. XXV. / XXIV.
4.	D. XXVII.	G. XXVI.	G. XXVII.	C. XXVI.	E. XXV.	A. XXIII.
5.	E. XXVI.	A. XXV. / XXIV.	A. XXVI.	D. XXV. / XXIV.	F. XXIV.	B. XXII.
6.	F. XXV.	B. XXIII.	B. XXV.	E. XXIII.	G. XXIII.	C. XXI.
7.	G. XXIV.	C. XXII.	C. XXIV.	F. XXII.	A. XXII.	D. XX.
8.	A. XXIII.	D. XXI.	D. XXIII.	G. XXI.	B. XXI.	E. XIX.
9.	B. XXII.	E. XX.	E. XXII.	A. XX.	C. XX.	F. XVIII.
10.	C. XXI.	F. XIX.	F. XXI.	B. XIX.	D. XIX.	G. XVII.
11.	D. XX.	G. XVIII.	G. XX.	C. XVIII.	E. XVIII.	A. XVI.
12.	E. XIX.	A. XVII.	A. XIX.	D. XVII.	F. XVII.	B. XV.
13.	F. XVIII.	B. XVI.	B. XVIII.	E. XVI.	G. XVI.	C. XIV.
14.	G. XVII.	C. XV.	C. XVII.	F. XV.	A. XV.	D. XIII.
15.	A. XVI.	D. XIV.	D. XVI.	G. XIV.	B. XIV.	E. XII.
16.	B. XV.	E. XIII.	E. XV.	A. XIII.	C. XIII.	F. XI.
17.	C. XIV.	F. XII.	F. XIV.	B. XII.	D. XII.	G. X.
18.	D. XIII.	G. XI.	G. XIII.	C. XI.	E. XI.	A. IX.
19.	E. XII.	A. X.	A. XII.	D. X.	F. X.	B. VIII.
20.	F. XI.	B. IX.	B. XI.	E. IX.	G. IX.	C. VII.
21.	G. X.	C. VIII.	C. X.	F. VIII.	A. VIII.	D. VI.
22.	A. IX.	D. VII.	D. IX.	G. VII.	B. VII.	E. V.
23.	B. VIII.	E. VI.	E. VIII.	A. VI.	C. VI.	F. IV.
24.	C. VII.	F. V.	F. VII.	B. V.	D. V.	G. III.
25.	D. VI.	G. IV.	G. VI.	C. IV.	E. IV.	A. II.
26.	E. V.	A. III.	A. V.	D. III.	F. III.	B. I.
27.	F. IV.	B. II.	B. IV.	E. II.	G. II.	C. *.
28.	G. III.	C. I.	C. III.	F. I.	A. I.	D. XXIX.
29.	A. II.		D. II.	G. *.	B. *.	E. XXVIII.
30.	B. I.		E. I.	A. XXIX.	C. XXIX.	F. XXVII.
31.	C. *.		F. *.		D. XXVIII.	

	Julius	Auguſt	September	October	November	December
1.	G. XXVI.	C. XXV. XXIV.	F. XXIII.	A. XXII.	D. XXI.	F. XX.
2.	A. XXV.	D. XXIII.	G. XXII.	B. XXI.	E. XX.	G. XIX.
3.	B. XXIV.	E. XXII.	A. XXI.	C. XX.	F. XIX.	A. XVIII.
4.	C. XXIII.	F. XXI.	B. XX.	D. XIX.	G. XVIII.	B. XVII.
5.	D. XXII.	G. XX.	C. XIX.	E. XVIII.	A. XVII.	C. XVI.
6.	E. XXI.	A. XIX.	D. XVIII.	F. XVII.	B. XVI.	D. XV.
7.	F. XX.	B. XVIII.	E. XVII.	G. XVI.	C. XV.	E. XIV.
8.	G. XIX.	C. XVII.	F. XVI.	A. XV.	D. XIV.	F. XIII.
9.	A. XVIII.	D. XVI.	G. XV.	B. XIV.	E. XIII.	G. XII.
10.	B. XVII.	E. XV.	A. XIV.	C. XIII.	F. XII.	A. XI.
11.	C. XVI.	F. XIV.	B. XIII.	D. XII.	G. XI.	B. X.
12.	D. XV.	G. XIII.	C. XII.	E. XI.	A. X.	C. IX.
13.	E. XIV.	A. XII.	D. XI.	F. X.	B. IX.	D. VIII.
14.	F. XIII.	B. XI.	E. X.	G. IX.	C. VIII.	E. VII.
15.	G. XII.	C. X.	F. IX.	A. VIII.	D. VII.	F. VI.
16.	A. XI.	D. IX.	G. VIII.	B. VII.	E. VI.	G. V.
17.	B. X.	E. VIII.	A. VII.	C. VI.	F. V.	A. IV.
18.	C. IX.	F. VII.	B. VI.	D. V.	G. IV.	B. III.
19.	D. VIII.	G. VI.	C. V.	E. IV.	A. III.	C. II.
20.	E. VII.	A. V.	D. IV.	F. III.	B. II.	D. I.
21.	F. VI.	B. IV.	E. III.	G. II.	C. I.	E. *.
22.	G. V.	C. III.	F. II.	A. I.	D. *.	F. XXIX.
23.	A. IV.	D. II.	G. I.	B. *.	E. XXIX.	G. XXVIII.
24.	B. III.	E. I.	A. *.	C. XXIX.	F. XXVIII.	A. XXVII.
25.	C. II.	F. *.	B. XXIX.	D. XXVIII.	G. XXVII.	B. XXVI.
26.	D. I.	G. XXIX.	C. XXVIII.	E. XXVII.	A. XXVI.	C. XXV.
27.	E. *.	A. XXVIII.	D. XXVII.	F. XXVI.	B. XXV. XXIV.	D. XXIV.
28.	F. XXIX.	B. XXVII.	E. XXVI.	G. XXV.	C. XXIII.	E. XXIII.
29.	G. XXVIII.	C. XXVI.	F. XXV. XXIV.	A. XXIV.	D. XXII.	F. XXII.
30.	A. XXVII.	D. XXV.	G. XXIII.	B. XXIII.	E. XXI.	G. XXI.
31.	B. XXVI.	E. XXIV.		C. XXII.		A. XX.

H. E.

Kali, ſ. Kalium.

Kaliber, ſ. Caliber.

Kalium (Potassium), ein einfacher Körper, der zu den Metallen und zwar zu den Leichtmetallen und hier wieder zu der Gruppe der Alkalimetalle gerechnet wird. Chemiſches Zeichen = K. Aequivalent = 488,836 (O = 100) oder 39,171 (H = 1).

In der Natur finden wir das Kalium im metalliſchen Zuſtande nicht, wohl aber vielfach in verſchiedenen Verbindungen. Am weiteſten verbreitet iſt die Sauerſtoffverbindung (das Kali oder Kaliumoxyd): und zwar wiederum an verſchiedene Säuren gebunden. Bis zu Klaproth's Zeiten wußte man nicht, daß das Kali in Mineralien enthalten ſei und daher nannte man daſſelbe zum Unterſchiede von dem Natron, das ja in großer Menge als Steinſalz in der Natur vorkommt, Pflanzenalkali. Zuerſt entdeckte Klaproth das Kali im Leucit, dann mit Vauquelin im Lepidolith; und bald war die Gegenwart dieſes Körpers in einer großen Reihe weit verbreiteter Mineralien nachgewieſen. So durch Kennedy

im Bimsſtein, durch Vauquelin im grünen ſibiriſchen Feldſpath (dem ſogenannten Amazonenſtein), durch Roſe im rothen Feldſpath und früher ſchon durch Monnet und Bergmann im Alaunſtein von Tolfa, ſo wie durch Black im Kieſelſinter des Gaſſirs. Mit dieſer Entdeckung mußte der alte Name fallen und ſtatt ſeiner wurde die Benennung Kali eingeführt.

Die am weiteſten verbreitete Verbindung des Kaliumoxydes iſt die mit Kieſelſäure, die wiederum mit kieſelſauren Verbindungen anderer Baſen (Thonerde, Kalkerde, Talkerde, den Oxyden des Eiſens ꝛc.) eine große Reihe von Mineralien bildet, von denen wir als die wichtigſten die Gruppen Feldſpath und Glimmer anführen. Durch die unausgeſetzt ſtatthabende Einwirkung der atmoſphäriſchen Luft und des mit Kohlenſäure beladenen Waſſers werden dieſe Geſteine im Laufe der Zeit zerlegt und des Alkalis zumeiſt beraubt, das vom Waſſer aufgelöſt mit fortgeführt wird. Daher finden wir auch in vielen Geſteinen (in den Thonen, Mergeln, Kalkſteinen), die ſich aus dem Waſſer abgeſetzt haben, einen Gehalt an Kali. Durch die Verwitterung, wie die angedeutete Zerſetzung der Geſteine genannt wird, gelangt das Kali auch in die Ackererde, aus der es die Pflanzen in ſich aufnehmen und anſammeln, ſo daß ſie uns noch heute zur Darſtellung der Kaliverbindungen dienen. Obgleich auch das Natron eben ſo verbreitet in der Natur zu finden iſt, wie das Kali, ſo wird letzteres doch vorzüglich von den Pflanzen ausgewählt; ſelbſt die Analyſen der Aſchen von Meerpflanzen, die doch in einem Medium wachſen, in welchem das Natron bedeutend überwiegt, haben ſogar eine vorherrſchende Kalimenge ergeben. Dieſer auffallende, für die Theorie der Pflanzenernährung wichtige Punkt hat jedoch noch nicht die Beachtung erlangt, die er verdient *).

Durch die Einwirkung des Waſſers, welches das Kali bei der Verwitterung ausgelaugt hat, auf andere Geſteine, die es bei ſeinem Lauf zur Oberfläche der Erde durchdringt, finden mannichfache Zerſetzungen ſtatt und damit entſtehen andere Verbindungen des Kalis, das ſchwefelſaure Kali, Chlor-, Brom- und Jodkalium ꝛc., die wir beſonders im Meerwaſſer, Salzſoolen und anderen Mineralquellen, ſo wie auch in einigen Geſteinen vorfinden. Chlorkalium wird auch unter den Producten der vulkaniſchen Thätigkeit aufgezählt, Schwefelkalium findet man in einigen Schwefelwäſſern und unter beſonderen Umſtänden bildet ſich ſalpeterſaures Kali in großer Menge.

Mit den Pflanzen nimmt der thieriſche Organismus auch das Kali auf, das theilweiſe hier verwendet, theilweiſe mit den Excrementen ausgeſchieden wird. Schließlich gelangt das der Erde entzogene Kali bei der Verweſung wieder dahin zurück, um dieſen Kreislauf wieder von Neuem zu beginnen.

Schon Lavoiſier erklärte die Alkalien für zuſammengeſetzte Körper, aber wegen der großen Verwandtſchaft des Kalis zum Sauerſtoff wollte es nicht gelingen einen Beweis für dieſe Anſicht beizubringen. Dies gelang erſt Humphry Davy (1807) mit Hülfe einer äußerſt kräftigen Voltaiſchen Säule. Dieſe für die Wiſſenſchaft ſo äußerſt wichtige Entdeckung wurde nicht durch einen glücklichen Zufall herbeigeführt, ſondern ſie war die Folge einer ſcharfſinnigen Ueberlegung. Kurz vorher hatte Davy die kräftige Wirkung des damals noch neuen Mittels kennen gelernt, als er beſchäftigt war die Träumereien von Erzeugung einer Säure

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLVII. S. 193.

und der Alkalien aus reinem Waſſer für immer und auf das Ueberzeugendſte zu widerlegen, eine Arbeit, für die das Inſtitut von Frankreich den ſcharfſinnigen Forſcher mit dem 1801 von Napoleon für die wichtigſte Entdeckung auf dem Gebiete des Galvanismus ausgeſetzten Preiſe — im Betrage von 3000 Frcs. — belohnte.

Die Entdeckung, daß das Kali ein Metall enthalte, war der erſte feſte Schritt auf einem neuen Felde, das Davy zugänglich gemacht hatte. Je weiter Davy vorwärts eilte, je mehr Entdeckungen übermachte er der erſtaunten Welt. Bei der Kunde von der erſten beeilte ſich jeder, Voltaiſche Säulen aufzubauen und entdecken zu helfen. So groß war die Theilnahme, daß ſelbſt die gewöhnlichſten Tagesblätter dem Publikum Nachricht von dieſer wichtigen Entdeckung gaben. Ja in Paris war ſie ſogar im Munde der Damen und der König ließ ſich das Experiment vormachen. Als Thénard bei ſeinen Vorleſungen im Collége de France, denen gleichfalls Damen beiwohnten, vom Katheder herab verkündete, daß er mit Gay-Luſſac Davy's Verſuche wiederholt und alle Angaben beſtätigt gefunden hätte, applaudirte das geſammte Auditorium mit Händeklatſchen.

Dieſe öffentlich ausgeſprochene Uebereinſtimmung verwandelte ſich jedoch ſehr bald in einen entſchiedenen Widerſpruch gegen Davy, der gleich von vorne herein mit der größten Beſtimmtheit ausgeſprochen hatte, daß das Kalium ein Metall und das Kali ein zuſammengeſetzter Körper ſei. Die franzöſiſchen Chemiker verkannten bei ihren ferneren Unterſuchungen einige Wirkungsmittel, die dabei ins Spiel kamen, ſo völlig, daß ſie aus dem Verhalten des Kaliums gegen Waſſer gerade das Umgekehrte ſchloſſen wie Davy. Dieſen heftigen Streit zu entſcheiden, war die damals bekannte Darſtellungsmethode nicht geeignet, weil ſie nur zu geringe Mengen des neuen Metalles lieferte. Thénard und Gay-Luſſac bemühten ſich daher eine neue Methode auf dem gewöhnlichen chemiſchen Wege ausfindig zu machen und bald gelangten ſie dahin, das Kalium durch Reduction mittelſt Eiſen darzuſtellen, während Curaudeau bei Anwendung von Kohle zu demſelben Reſultat gelangte. Erſt 1810 änderten Gay-Luſſac und Thénard ihre Anſichten; ſie hatten ſich überzeugt, daß das Kalium keinen Waſſerſtoff gebunden enthalte.

Nur als Vorleſungsverſuch ſtellt man jetzt noch das Kalium auf galvaniſchem Wege dar. Während Davy bei ſeinen Verſuchen eine Säule von 150 Plattenpaaren von 4 bis 6 Zoll im Quadrat in Thätigkeit ſetzte, reicht man heute mit 8 kräftigen Grove'ſchen Elementen aus, beſonders wenn man nur das Amalgam darſtellt. Bei Anwendung von Queckſilber reichte freilich auch ſchon Berzelius mit einer viel ſchwächeren Säule aus, die nur aus 20 Plattenpaaren von $1^1/_2$ Zoll Durchmeſſer aufgebaut worden war. Um das Kaliumamalgam auf dieſe Weiſe darzuſtellen, legt man ein Stück geſchmolzenes Kali, in welchem ſich eine Höhlung zur Aufnahme des Queckſilbers befindet, auf eine Glasſcheibe, benetzt das Kali mit Waſſer, ſtellt den mit dem — Pole verbundenen Draht in das Queckſilber und bringt das Kali mit dem anderen Pole in Verbindung. Wird nun das Kali zerſetzt, ſo geht das ausgeſchiedene Kalium mit dem Queckſilber eine Verbindung ein; letzteres wird dickflüſſig und man bemerkt kleine anſcheinend kubiſche Kryſtalle — feſtes Kaliumamalgam — darin. Die in dem Amalgam enthaltene Kaliummenge iſt jedoch ſehr geringe.

Die Darstellungsmethode der französischen Chemiker ist im Laufe der Zeit mannichfach verbessert worden, wobei sich herausstellte, daß gar nicht eine so bedeutende Hitze, wie dort für unerläßlich gehalten wurde, erforderlich ist, wenn man zur Reduction Kohle anwendet. Die Kosten der Darstellung werden bedeutend verringert, wenn man statt des Kalihydrates, wie Brunner *) und vor ihm schon Döbereiner vorgeschlagen haben, kohlensaures Kali anwendet. Um eine recht innige Mengung mit Kohle herbeizuführen, verkohlt man Weinstein; man mischt aber die schwarze Masse noch mit $^1/_{10}$ Kohle, damit sie beim Erhitzen nicht so sehr in Fluß geräth und man auch sicher einen Ueberschuß von Kohle darin annehmen kann.

Eine andere Verbesserung ist von Wöhler **) eingeführt, indem er als Destillationsgefäß eine eiserne Flasche, in der das Quecksilber versendet wird, in Anwendung brachte. Denselben Vorschlag hatte früher schon Lampadius gemacht ***). So ist es möglich größere Mengen von Kalium darzustellen. Bevor man aber eine solche Flasche in Gebrauch nimmt, muß man sie tüchtig ausglühen, um eine nicht unbedeutende Menge Quecksilber, die in den Schweißfugen hartnäckig zurückgehalten wird, zu verflüchtigen. Eben so hat man sich durch Einpressen von Luft zu überzeugen, daß alles dicht ist. In das bereits an der Flasche befindliche Schraubengewinde befestigt man ein Stück eines Flintenlaufes von ungefähr 1 Fuß Länge. Das Gemenge von Kali und Kohle füllt man sehr schnell ein, damit es nicht Feuchtigkeit anzieht. Ist die Flasche bis zu einem Drittheile eingefüllt, so schraubt man das Flintenrohr an und legt die Retorte horizontal in einen gut ziehenden Ofen ohne Gebläse, der leicht hergestellt ist. Besondere Sorgfalt hat man auf Einrichtung des Rostes zu verwenden und dann bringt man eine sehr hohe Zugröhre an, um eben einen kräftigen Zug zu erzielen. Um eines solchen sicher zu sein, läßt man den Raum unter dem Rost mit einem Keller oder einem kalten Raum überhaupt in Verbindung treten, so daß von hier die Luft kräftig in den Ofen strömt. Es ist nicht nöthig, daß die Retorte mit einem Beschlage versehen ist.

Bringt man die Retorte zum Glühen, so geht zuerst viel Feuchtigkeit über, dann entwickelt sich Kohlenoxydgas, das man beim Austritt anzünden kann. Bei Weißgluth entweicht ein dicker, abwechselnd weiß, grau, grünlich braun oder fast schwarz erscheinender Dampf in großer Menge; entzündet man ihn, so brennt er mit weißer, leuchtender Flamme. Kalte Körper, welche man in die Flamme hält, beschlagen sich mit Kali. Dann füllt sich der innere Raum mit grünem Gas und dieser Umstand dient als Zeichen die Vorlage anzubringen. Nach der Angabe von Berzelius wird sie aus Kupfer- oder Eisenblech angefertigt und besteht aus zwei Theilen in Form flachgedrückter vierseitiger Behälter, die an den entgegengesetzten Enden verschlossen sind und von denen der eine sich gedrängt in den anderen hineinschieben läßt. Nach oben befinden sich zwei sich gegenüberstehende Oeffnungen, von denen die eine den Flintenlauf aufnimmt und die andere einen durchlöcherten Kork, so daß man leicht mit einem eisernen Ladestock ein Verstopfen

*) Schweigger's Journ. Bd. XXXIX. S. 317.
**) Pogg. Ann. Bd. IV. S. 23.
***) Schweigger's Journ. Bd. XXXIV. S. 221.

des engen Weges bis zur Vorlage verhindern kann. Um überhaupt ein Festsetzen des Destillationsproductes vor der Vorlage zu verhindern, muß der Weg bis zur Vorlage während der ganzen Operation glühend bleiben und aus diesem Grunde muß das Stück Flintenlauf sehr kurz und die vordere Wand des Ofens sehr dünne sein; am besten ersetzt man letztere durch eine eiserne Platte, die durchbohrt ist, um dem Flintenlauf einen Durchlaß zu gewähren.

Die Vorlage wird zur Hälfte mit Steinöl gefüllt und muß außerordentlich gut abgekühlt werden; man stellt sie am besten in Schnee und Eis oder man sorgt fleißig für die Erneuerung des Wassers. Man hat aber hierbei auf das Sorgfältigste zu vermeiden, daß kein Wasser in die Vorlage selbst hineingelangt, wodurch eine Entzündung des Kaliums und eine gefährliche Explosion veranlaßt werden würde. Eine weitere Oeffnung in der Vorlage, aus der ein Leitungsrohr unter Steinöl mündet, verstattet den während der Operation sich entwickelnden Gasen einen Ausweg. Entwickeln sich diese gleichförmig, so ist die Destillation gut im Gange. Um dies zu beurtheilen, entzündet man wohl auch die fortgehenden Dämpfe und beurtheilt dann den Gang der Operation nach der Größe der Flamme.

Im Verlaufe der Operation entweicht neben den Kaliumdämpfen und dem Kohlenoxydgas noch ein dicker weißer oder grauer Nebel, der nur zu leicht eine Verstopfung verursacht. Das Glühen des Ableitungsrohres schützt allein dagegen nicht immer; man muß daher wie schon oben angegeben mit einem Eisenstabe den Weg zur Vorlage öfters aufräumen. Aber endlich tritt auch bei aller Vorsicht ein Zeitpunkt ein, wo durch Anwendung äußerer Gewalt der Weg nicht mehr frei gehalten werden kann. Nur selten gelingt es noch durch die größte Anstrengung. Versucht man dies, so muß man die Vorsicht beobachten, sich in die Richtung des Flintenlaufes zu stellen, weil es oft geschieht, daß die sich in der Retorte anhäufenden Gase der von außen in Anwendung gebrachten Kraft zu Hülfe kommen und die ganze im Rohre abgesetzte Masse mit Heftigkeit herausgeschleudert, also gleichsam ein Schuß brennenden Kaliums durch die Luft gejagt wird.

Gelangt man nicht in kurzer Zeit dahin, den Weg zur Vorlage wieder frei zu machen, so ist die Operation zu unterbrechen und zuerst für die Entfernung des Feuers zu sorgen. Die Einrichtung des Rostes erlaubt dies augenblicklich; er ist beweglich und nimmt man ihn fort, so fällt das Feuer in den Aschenraum. Dann entfernt man die Vorlage und verstopft die Oeffnungen mit Korken. Auch die Retorte entfernt man aus dem Ofen und läßt sie erkalten. Hat man den Flintenlauf wieder gereinigt, so setzt man den Apparat wieder zusammen und beginnt die Operation wieder von Neuem; ein und denselben Inhalt der Retorte kann man wohl drei bis vier Mal wieder erhitzen. Die schwarze Masse aus dem Flintenlauf sammelt man sorgfältig und unterwirft diese einer neuen Destillation, um das darin enthaltene Kalium zu gewinnen. Oft findet man in der Vorlage kein reines Kalium, sondern nur diese Masse, deren Reinigung mit einer gewöhnlichen kleinen Retorte, die man in einen mit Sand gefüllten Tiegel stellt, ausgeführt wird, indem man den Tiegel zum Glühen bringt. Dieselbe Operation ist auch mit dem Kalium selbst vorzunehmen, weil es stets geringe Mengen von Kohle enthält. Hierbei bleibt eine schwarze Masse, eine Verbindung von Kalium mit Kohlenstoff, zurück, die in Berührung mit Wasser Kohlenwasserstoffgas (C H) entwickelt. Statt der Retorte aus Glas verwendet man zur Rectification des Kaliums besser einen

ganz ähnlichen Apparat wie zur Darstellung desselben. Bei Anwendung der ersteren geht unvermeidlich ein Theil des Kaliums verloren, weil dasselbe dem Glase Sauerstoff entzieht und sich in Kali verwandelt. Die Reinigung des Kaliums ist nicht lange zu verschieben, denn selbst unter Steinöl verändert sich das unreine Kalium mit der Zeit. Es wird schwarz, hart und besitzt dann die gefährliche Eigenschaft selbst durch das leiseste Reiben heftig zu explodiren.

Wegen des Gehaltes an Kalium verursacht die schwarze Masse oft Explosionen bei dem Auseinandernehmen des Apparates oder beim Entfernen derselben aus dem Flintenlauf, die durch den Zutritt der feuchten Luft bedingt zu werden scheinen. Wahrscheinlich bildet sich diese Masse dadurch, daß an den Stellen, wo die Temperatur nicht bis zur Glühhitze gesteigert ist, das Kohlenoxydgas von dem Kalium condensirt wird. Gmelin *), Liebig **), Heller ***), Thaulow ****) und Werner *****) haben diese merkwürdige Substanz genauen Untersuchungen unterworfen. Man hat daraus rhodizonsaures Kali gewonnen; die Rhodizonsäure zerlegt sich aber sehr leicht in Croconsäure und Oxalsäure. Die Namen der beiden Säuren sind hergeleitet von den ausgezeichneten Farben ihrer Verbindungen (rosenroth und gelb).

Trotz allen Verbesserungen, welche die von Brunner angegebene Methode erhalten hat, rechnet man die Darstellung des Kaliums dennoch zu den schwierigsten Operationen der Chemie, dazu kommt noch, daß die Ausbeute, welche man erzielt, eine sehr unsichere ist. Ganz abgesehen davon, daß man nur einen kleinen Theil des in dem Weinstein befindlichen Kaliums erhält, schwankt die Ausbeute nach Dumas zwischen 1 und 2,66, d. h. in den günstigeren Fällen erlangt man über $2^1/_2$ Mal mehr an Kalium als in den ungünstigeren. Dies hat seinen Grund darin, daß man bei den Verbesserungen so zu sagen nur die äußeren Hindernisse zu entfernen suchte und auf den chemischen Vorgang bei der Operation selbst gar keine Rücksicht nahm. Dadurch wurden Mareska und Donny †) veranlaßt die Einwirkung des Kohlenoxydgases auf das Kalium näher zu studiren. Sie fanden hierbei, daß, wenn man ein Gemenge von Kohlenoxydgas aus dampfförmigem Kalium in eine geräumige und abgekühlte Vorlage eintreten läßt, das Kalium sich nicht in metallischem Zustande abscheidet. Dadurch wurden sie in den Stand gesetzt, die Fehler des Brunner'schen Verfahrens zu erkennen und zu entfernen. Durch die Einwirkung der Kohle auf das kohlensaure Kali erzeugt sich in der Retorte Kohlenoxydgas und Kalium. Ein Theil des gebildeten Metalles condensirt sich in der Verbindungsröhre, aber eine größere Menge dringt in Dampfform in die Vorlage und ist aus dem angegebenen Grunde unwiderruflich verloren. Er entweicht im Zustande eines entzündlichen Gases in die Luft.

Aber auch den Theil des Kaliums erhält man nicht einmal ganz, der sich in der Verbindungsröhre verdichtet. Nur eine kleine Menge desselben fließt in die Vorlage; der Rest bleibt in der Röhre haften und verwandelt sich durch die

---

*) Pogg. Ann. Bd. IV. S. 31 und Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XXXVII. S. 38.
**) Ann. d. Chem. u. Pharm.
***) Ueber die Rhodizonsäure und Croconsäure. Prag 1837.
****) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XXVII. S. 1.
*****) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XIII. S. 404.
†) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVI. S. 283.

beſtändige Einwirkung des Kohlenoxydgaſes in eine unſchmelzbare, kohlige Maſſe, die dann die leidigen Verſtopfungen verurſacht. Die Verbeſſerungsvorſchläge, welche darauf ausgehen, die Temperatur der Verbindungsröhre zu erhöhen, räumen zwar in etwas das Hinderniß der Verſtopfung aus dem Wege, ſie vermindern aber die Ausbeute auf doppelte Weiſe, indem ſie einmal die Condenſationsoberfläche verringern und dann viel mehr Kalium in Dampfform in die Retorte gelangen laſſen. Aus dieſen Betrachtungen geht alſo nothwendigerweiſe hervor, daß der Erfolg bei der Darſtellung des Kaliums von zwei Umſtänden abhängt. Man muß das Metall nicht in der Verbindungsröhre condenſiren laſſen, ſondern eine Vorlage anwenden, die das Kalium zu condenſiren und ſobald als möglich der Einwirkung des Kohlenoxydgaſes zu entziehen vermag, ohne daß eine zu große Menge in Dampfform entweicht.

Weiter gelangten Mareska und Donny bei dieſen Unterſuchungen zur Erkenntniß noch anderer Urſachen, die oft einen ſehr ſchädlichen Einfluß auf den Gang der Operation ausüben und von der Conſtruction des Apparates ganz unabhängig ſind. Solche ſind: die Gegenwart von Cyankalium in der das Kalium liefernden Miſchung und ein fehlerhaftes Verhältniß zwiſchen der Menge der Kohle und des kohlenſauren Kalis in dem verkohlenden Weinſtein. Erſteres giebt, da es flüchtig iſt, zu bedenklichen Verſtopfungen Veranlaſſung. Man vermeidet ſeine Bildung durch die ſchnelle Abkühlung des Tiegels, in welchem man den Weinſtein verkohlt hat, mittelſt eines feuchten Tuches größtentheils. Der zweite Umſtand macht erforderlich, daß man den verkohlten Weinſtein genau analyſire, um zu erfahren, ob die Menge der Kohle genau mit der übereinſtimmt, welche die Theorie als zur Reduction des Kalis erforderlich vorſchreibt. Nur wenn dies ſo viel als möglich der Fall iſt, kann man einen günſtigen Erfolg der Operation erwarten.

Durch die vielfach angeſtellten Verſuche ſind Mareska und Donny in den Stand geſetzt worden, die beſte Vorſchrift für die Bereitung des Kaliums angeben zu können. Wir verweiſen daher diejenigen, welche ſich ſpeciell damit beſchäftigen wollen, auf die angegebene Abhandlung, die über alle Theile der Operation in die kleinſten Details eingeht. Vollſtändig freilich ſind die Hinderniſſe nicht entfernt, aber doch wenigſtens beträchtlich vermindert. Namentlich haben die genannten Chemiker, ſo lange ſie auch operirt haben, keine der oben beſprochenen Exploſionen beobachtet.

Aus 800 bis 900 Grm. verkohlten Weinſteins, die im Mittel 367 Grm. Kalium enthalten, erhält man nach dieſem Verfahren in der Regel eine Ausbeute von 200 bis 250 Grm., ſo daß alſo doch noch über 100 Grm. Metall verloren gehen, und in Dampfform entweichen. Im Allgemeinen iſt daher die Ausbeute zwar nicht größer als bei dem alten Verfahren in günſtigen Fällen; der Unterſchied iſt aber der, daß ſie hier conſtant iſt.

Die metalliſche Natur des Kaliums ſpricht ſich ſchon ſehr deutlich in der ſilberweißen Farbe und dem ſtarken Glanz aus. Da aber das Kalium unter allen bekannten Elementen die größte Verwandtſchaft zum Sauerſtoff hat, weswegen es auch unter Steinöl aufbewahrt wird, ſo erbleicht der helle Silberglanz ſehr bald an der Luft. Nur für wenig Augenblicke iſt er auf der friſchen Schnittfläche ſichtbar, die ſich ſchnell mit einer dünnen Schicht von Kali überzieht. Bei einer Temperatur von 0° iſt das Kalium ſtarr und ſpröde, bei 15° iſt es weich, läßt ſich

wie Wachs ſchneiden und auch zwiſchen den Fingern kneten; bei 55° iſt es ganz flüſſig und hat nun viele Aehnlichkeit mit dem Queckſilber. Erhitzt man es bei Ausſchluß der Luft, ſo geräth es bei Rothgluth ins Kochen; der Dampf beſitzt eine ſchöne grüne Farbe. Das durch Abkühlen feſt gewordene Kalium beſitzt eine kryſtalliniſche Textur und ſcheint die Kryſtallform dem regulären Syſtem anzugehören. Pleiſchl giebt an *), daß er auf einem 1/2 Zoll langen Stück Kalium unter der Loupe zahlreiche kleine Kryſtalle beobachtet habe, an denen ſich lauter rechte Winkel beobachten ließen. Einige wurden deutlich als Würfel erkannt. Dieſe Kryſtalliſation zeigte große Aehnlichkeit mit der bekannten des Wismuths. Pleiſchl's Verſuche aber beim Kalium ähnlich wie beim Schwefel, Wismuth ꝛc. auf die bekannte Art die Kryſtalliſation hervorzurufen, ſcheiterten gänzlich. Die mehr oder weniger deutliche kryſtalliniſche Textur entwickelt ſich beſonders, wenn das Kalium einige Zeit lang in Steinöl aufbewahrt worden iſt. — Unter allen Metallen beſitzt das Kalium das geringſte ſpecifiſche Gewicht. Nach Gay-Luſſac und Thénard beträgt es bei 15° C. 0,865. Nach Davy iſt das Kalium ein ſehr guter Leiter der Wärme und ein vollkommener Leiter der Elektricität.

Das Kalium zieht mit ſo großer Begierde den Sauerſtoff an, daß Waſſer ſogleich zerſetzt wird, wenn es mit Kalium in Berührung kommt. Hierbei wird eine ſo große Wärme entwickelt, daß der freiwerdende Waſſerſtoff ſich entzündet, zugleich verflüchtigt ſich ein Theil des Kaliums und daher zeigt die Flamme eine ſchöne violette Farbe. Legt man ein Stück Kalium auf eine große Waſſerfläche, ſo geräth es in eine lebhafte Bewegung und fährt brennend darauf umher. Iſt alles Kalium oxydirt, ſo hört die Waſſerſtoffentwickelung auf und bald darauf verſchwindet die kleine Kugel von Kalihydrat unter einem ziemlich ſtarken Geräuſch im Waſſer. Gegen das hierbei ſtattfindende Umherſchleudern muß man ſich ſchützen. Der Grund dieſer Exploſion iſt ein ähnlicher wie beim Leidenfroſt'ſchen Verſuch. Hat die Waſſerſtoffentwickelung aufgehört, ſo befindet ſich zwiſchen der glühenden Kugel und dem Waſſer eine Schicht Waſſerdampf; beim Erkalten verdichtet ſich derſelbe und kommt das Kali mit dem Waſſer zuſammen, ſo entwickelt ſich bei der Waſſeraufnahme eine bedeutende Wärme, durch welche wieder Waſſerdampf erzeugt wird, der mit ſolcher Heftigkeit entweicht, daß einzelne Theilchen der Flüſſigkeit und des Kalis umhergeſchleudert werden. Nach Anderen ſoll ſich bei der Verbrennung des Kaliums Kaliumſuperoxyd bilden, ſo daß an der nach dem Verbrennen auftretenden Exploſion noch der entweichende Sauerſtoff Theil nähme. Das Waſſer reagirt nun deutlich alkaliſch.

Eben ſo entzieht auch das Kalium einer großen Reihe von ſauerſtoffhaltigen Verbindungen den Sauerſtoff. Es dient deshalb zur Darſtellung einiger Elemente wie z. B. des Borax, Siliciums ꝛc. In Kohlenſäure und Kohlenoxydgas, die beide nicht fähig ſind das Verbrennen zu unterhalten, entzündet ſich das Kalium und die Kohle wird aus ihrer Verbindung mit dem Sauerſtoff abgeſchieden.

Auf einer glatten, von Oxyd oder fremden Metallen freien Queckſilberoberfläche geräth das Kalium in eine ähnliche lebhafte Bewegung wie auf dem Waſſer. Dieſe Erſcheinung hat Mulder **) zu einer Erörterung Gelegenheit gegeben.

---

*) Pogg. Ann. Bd. XXXI. S. 431.
**) Pogg. Ann. Bd. XXXIX. S. 500.

Das Kalium verbindet ſich mit dem Sauerſtoff in verſchiedenen Verhältniſſen. Findet ein unvollkommener Zutritt von Sauerſtoff ſtatt, ſo ſoll ſich Suboxyd (K^2O) bilden. Durch Verbrennen von Kalium im Sauerſtoffſtrom oder beim Schmelzen von Kalium mit Salpeter entſteht Kaliumſuperoxyd (KO^3). Die wichtigſte Verbindung aber iſt das Kaliumoxyd (KO), gewöhnlich Kali (Potasse, Oxyde de potassium, Potassa) genannt. Im waſſerfreien Zuſtande iſt es ſehr ſchwierig darzuſtellen; am beſten nach Davy, wenn man Kalium und Kalihydrat in gleichen Aequivalenten zuſammenſchmilzt. Hierbei wird das Hydratwaſſer zerſetzt, der Waſſerſtoff entweicht und der Sauerſtoff oxydirt das Kalium zu Kali.

Seine allgemeine Anwendung findet das Kali nur in dem Hydratzuſtande, ſei es als feſte Maſſe (ätzendes oder kauſtiſches Kali, Aetzſtein, Lapis causticus, Hydrate de Potasse, Potasse à la chaux, Pierre à cautère, engl. caustic Potash, dry Potassa) oder als Flüſſigkeit (Aetzkalilauge, Seifenſiederlauge, Lessive caustic, engl. caustic ley). Beide ſtellt man aus dem kohlenſauren Kali dar, dem man die Kohlenſäure durch Kochen mit gebranntem Kalk entzieht. Ganz wird dem erſteren die Kohlenſäure aber nur bei verdünnter Löſung (in 12 Th. Waſſer entzogen. 1 Th. kohlenſaures Kali erfordert 0,4 Th. friſch gebrannten Kalk; man nimmt in der Regel die Hälfte des erſteren an Kalk, löſcht dieſen mit dem dreifachen Gewicht an Waſſer und trägt den Brei nach und nach, ſo daß das Kochen nicht unterbrochen wird, in die Potaſchenlöſung ein. Auf dieſe Art trennt ſich die Kohlenſäure ſehr leicht von dem Kali und der kohlenſaure Kalk nimmt eine körnige Beſchaffenheit an, wodurch er ſich ſchnell zu Boden ſenkt und die Lauge gut abgegoſſen werden kann. Setzt man den Kalk auf einmal hinzu, ſo wird die Sättigung deſſelben mit Kohlenſäure dadurch verhindert, daß der noch nicht geſättigte Kalk durch den bereits gebildeten kohlenſauren Kalk eingehüllt und dadurch der Einwirkung des kohlenſauren Kalis entzogen wird. Nicht allein daß man dann mehr an Kalk verbraucht, der kohlenſaure Kalk ſetzt ſich zugleich dann auch ſchwerer ab. Die vollſtändige Umwandlung des kohlenſauren Kalis in Aetzkali erkennt man daran, daß beim Eintröpfeln einer Probe in Salzſäure keine Entwickelung von Kohlenſäure ſtatt hat. Man läßt nun den kohlenſauren Kalk ſich abſetzen und gießt die klare Flüſſigkeit ab oder hebt ſie mit einem Heber ab. Den Rückſtand wäſcht man mit etwas Waſſer aus, um möglichſt alles Kali zu erhalten. Filtriren durch einen leinenen Beutel iſt nicht anzurathen, weil dies längere Zeit erfordert, ſo daß die Lauge Kohlenſäure aus der Luft anzieht; dann aber wirkt ſie auch auf die Leinwand ein und färbt ſich dadurch gelb.

Zu chemiſchen Zwecken wendet man reine Materialien an; gereinigtes kohlenſaures Kali, Marmor und deſtillirtes Waſſer. Eine ſolche Lauge enthält immer eine geringe Menge Kalk aufgelöſt, jedoch nicht in größerer Menge als das Waſſer; durch Eintröpfeln einer Löſung von kohlenſaurem Kali kann man dieſe Verunreinigung entfernen. Das kohlenſaure Kali läßt ſich aber überhaupt ſchwer ganz rein darſtellen, daher muß man, wenn man eine chemiſch reine Lauge darſtellen will, andere Wege einſchlagen *).

*) Journ. f. prakt. Chemie. Bd. XXVI. S. 117 und Bd. LVII. S. 119.

Die Kalilauge zieht aus der Luft begierig Kohlenſäure an, deshalb muß man ſie in gut verſtöpſelten Flaſchen aufbewahren. Hierbei iſt aber der Verſchluß durch Kork zu vermeiden, weil die Kalilauge darauf einwirkt. Auch das Glas wird davon angegriffen, namentlich das mattgeſchliffene. Die Lauge löſt daraus Kieſelerde und Thonerde auf; das gebildete kieſelſaure Kali erhärtet leicht und kittet den Glasſtöpſel ſo feſt ein, daß man genöthigt iſt, den Hals der Flaſche abzuſprengen. Durch Beſtreichen des Stöpſels mit Talg wird zwar dieſer Uebelſtand vermieden, aber die Lauge verunreinigt. Am beſten iſt es daher die Berührung der Lauge mit dem mattgeſchliffenen Glaſe ganz zu vermeiden, was dadurch geſchieht, daß man die Lauge nie ausgießt, ſondern ſtets mit einer Pipette herausheb t.

Will man das Kali in feſter Geſtalt erhalten, ſo dampft man die Lauge ſo lange ein, bis ein herausgenommener Tropfen, den man auf ein kaltes Blech fallen läßt, erſtarrt. Aus dem angegebenen Grunde muß man hierbei Gefäße von Glas und Porzellan vermeiden und nur eiſerne in Anwendung bringen. Von ſtarker Kalilauge wird aber auch Eiſen angegriffen; daher bedient man ſich zum Schmelzen des feſten Kalis Tiegel von Silber. Hat man es hierin ſo lange erhitzt, bis es ruhig wie Oel fließt und gießt man es dann in cylindriſche Formen aus, ſo erhält man das Kali causticum fusum, den Lapis causticus oder Aetzſtein, der von Chirurgen zum Aetzen von Wunden verwendet wird. In dieſem Zuſtande hat man eine Verbindung von Kaliumoxyd mit 1 Atom HO, alſo Kaliumoxydhydrat, während das zuerſt erwähnte Kali causticum siccum noch 2 Atome HO enthält. Von dem Hydratwaſſer kann das Kali durch Erhitzen nicht befreit werden. Es zieht ſehr begierig Waſſer aus der Luft an und zerfließt ſehr leicht. Daher löſt es ſich auch ſehr leicht in Waſſer auf, wobei ſich eine bedeutende Hitze entwickelt, weil hier noch Waſſer chemiſch gebunden wird. Man kann das Kalihydrat auch kryſtalliſirt erhalten *).

Ausgezeichnet iſt das Kali durch ſeine große Verwandtſchaft zu den Säuren und ſeine Einwirkung auf organiſche Stoffe. In erſterer Beziehung übertrifft es im Allgemeinen alle anderen Baſen. Die thieriſchen Subſtanzen werden noch leichter von der Kalilauge angegriffen als die pflanzlichen. Bringt man es z. B. auf die Haut, ſo wird dieſe zerfreſſen; darauf beruht ſeine Verwendung zum Aetzen von Wunden. Im verdünnten Zuſtande macht es die Haut ſchlüpfrig. Das Verhalten des Kalis zu den organiſchen Stoffen iſt es auch, welches die Seifen geeignet macht, den Schmutz zu entfernen; ferner bedient man ſich der Lauge auch beim Bleichen.

Löſt man Kalihydrat in Weingeiſt, ſo übt es bald ſeine Wirkung auf dieſen aus. Er nimmt eine braune Farbe an, die mit der Zeit immer dunkler wird und ein Theil deſſelben wird zerſetzt. Es bilden ſich Aldehydharz, Eſſigſäure und Ameiſenſäure. In der organiſchen Chemie dient das Kalihydrat als ein kräftiges Oxydationsmittel. Durch Schmelzen von Kalihydrat mit organiſchen Stoffen entſtehen mannigfache Zerſetzungsproducte.

In der Technik fertigt man die Lauge, die in großer Menge zum Bleichen, Seifeſieden, in der Färberei, Kattundruckerei gebraucht wird, theils aus Holzaſche

*) Pogg. Ann. Bd. XXXIX. S. 192.

(namentlich Buchenholzasche), theils aus der rohen Pottasche oder einem Gemenge beider an. Man mengt die erstere mit 8 bis 10 Proc. gebranntem Kalk und laugt das Gemisch in hölzernen oder besser gußeisernen Gefäßen (Aescherfässern) mit Wasser aus. Zu dem Ende läßt man das Ganze 24 Stunden stehen und läßt dann die Lauge durch den Hahn abfließen. Durch abermaliges Aufgießen von Wasser erhält man noch eine schwächere Lauge. Der Rückstand in dem Aescher wird theils als Dünger, theils zum Darstellen von Glas oder Salpeter verbraucht.

Um den Gehalt der Lauge an Kalihydrat zu erfahren, hat man in der Technik viele Proben, die jedoch ein sehr unsicheres Resultat geben. Bei schwächeren Laugen entscheidet man dieses durch den Geschmack oder durch den Grad der Schlüpfrigkeit eines damit benetzten Körpers. Man läßt auch ein Ei darauf schwimmen und beobachtet, wie tief es eintaucht. Das specifische Gewicht giebt auch keine genaue Auskunft, wegen der Verunreinigungen, die in der Lauge enthalten sind. Genaue Resultate giebt nur die Sättigung mit Säuren.

Unter den zahlreichen Verbindungen des Kaliumoxydes mit Säuren sind viele für das Leben von großer Wichtigkeit. Obenan steht das kohlensaure Kali (Pottasche, mildes Pflanzenlaugensalz, Weinsteinsalz, Sal Tartari, Souscarbonate de Potasse, Sel de Tartre, engl. Subcarb. of Potasse, Salt of Tartar), da es größtentheils als Ausgangspunkt für die Darstellung der Kaliverbindungen dient.

Bei der Darstellung dieses Salzes kommen uns die Pflanzen zu Hülfe; sie sammeln die geringen Mengen von Kali, welche in den Gesteinen und durch diese in dem fruchtbaren Boden enthalten sind, in sich auf. In den Pflanzen ist das Kali an verschiedene unorganische Säuren (Schwefelsäure, Phosphorsäure, Kieselsäure), auch an Chlor und ein großer Theil an organische Säuren gebunden. Beim Verbrennen der Pflanzen bleibt der Kaligehalt in der Asche zurück und der Theil, welcher in der lebenden Pflanze mit organischen Säuren verbunden war, findet sich darin als kohlensaures Kali. Um letzteres zu gewinnen, zieht man die Asche mit Wasser aus, dampft die Lösung ein und bringt die so erhaltene Salzmasse in einen Flammofen, um die darin enthaltenen färbenden organischen Theile zu zerstören. Diese Operation nennt man calciniren und das Product calcinirte Pottasche.

Zur Darstellung der Pottasche dient besonders die Holzasche. In wenig bevölkerten Ländern, die reiche Holzbestände besitzen, wird eine große Menge lediglich zu diesem Zwecke eingeäschert, so in Schweden, Rußland, Nordamerika, zum Theil auch in Ungarn, Böhmen ꝛc. An anderen Orten (im Schwarzwalde, Odenwalde, Böhmen) verarbeitet man nur die Asche, welche bei der Feuerung abfällt. Außer dem Holze kann man auch eine große Menge anderer Pflanzen auf Pottasche benutzen. Bei der sich unausgesetzt steigernden Verringerung der Holzbestände wäre man mit der Zeit genöthigt worden, diesem Gegenstande eine größere Aufmerksamkeit zu schenken, wenn der Verbrauch der Pottasche in der Technik in der jüngsten Zeit nicht sehr bedeutend durch die Soda (kohlensaures Natron) verringert worden wäre. In den meisten Fällen verwendet man jetzt diese statt jener und nur für wenige Zweige der industriellen Thätigkeit ist die Pottasche unersetzlich: so in der Alaun- und Salpeterfabrikation, bei der Darstellung des böhmischen Krystallglases, des chlorsauren Kalis, des Blutlaugensalzes, der Schmierseifen, des sämischen Leders und der Darmsaiten.

Im Herbſt ſieht man in vielen Gegenden, daß auf den Aeckern große Mengen von ſonſt nicht brauchbaren Pflanzen verbrannt werden. Dies geſchieht hauptſächlich, um dem Boden den ihm durch die Pflanzen entzogenen Beſtand an Kali, der für das Wachsthum unentbehrlich iſt, wieder zuzuführen. Man könnte aber von dieſem vortrefflichen Düngungsmittel einen ausgedehnteren Gebrauch machen als es bis jetzt geſchieht.

Namentlich die kraut- und ſtrauchartigen Pflanzen geben eine größere Ausbeute an Aſche als unſere Bäume; bei letzteren beträgt dieſe nur 1 bis 2 Proc., bei den Sträuchern 3 bis 5 Proc. und bei den krautartigen Pflanzen (Kartoffel, Buchweizen, Unkraut mancherlei Art) 4 bis 6 Proc. und die Aſche liefert wieder reſp. den zehnten bis fünften Theil, bis zur Hälfte oder den fünften Theil an Pottaſche. Dem Rückſtande bei der Darſtellung des Branntweins aus der Rübenmelaſſe, der auch bereits bei uns Eingang gefunden hat, ſchenkt man noch nicht die Beachtung, die er verdient. Er enthält alle die Salze, welche dem Boden entzogen ſind; jetzt gehen dieſe faſt allgemein verloren, ein Umſtand, der ſich nach einer Reihe von Jahren auf eine ſehr empfindliche Art wird geltend machen.

Die Pottaſche, wie ſie in zahlreichen Sorten nach den Ländern benannt, aus denen ſie herſtammt, im Handel vorkommt, enthält alle die oben aufgeführten Vereinigungen in einer größeren oder geringeren Menge; außerdem aber auch geringe Mengen von Aetzkali, unlösliche Verbindungen und Waſſer, welches mit Begierde aus der Luft angezogen wird, ſo daß die Pottaſche oft ganz naß und weich iſt. Bei der Verwendung kommt nur der Gehalt an kohlenſaurem Kali in Betracht und deshalb iſt es für die Technik von großem Werth dieſen genau zu kennen. Wir verweiſen dieſerhalb auf den Art. Alkalimetrie. Im allgemeinen ſind die amerikaniſche und die illyriſche Pottaſche die beſten und reinſten.

Um die Pottaſche von dieſen Verunreinigungen zu befreien, übergießt man ſie mit einem gleichen Gewicht oder weniger reinen, kalten Waſſers, rührt das Ganze tüchtig um, und gießt nach einiger Zeit die Löſung ab. Den Rückſtand verarbeitet man auf ſchwefelſaures Kali. In der Löſung befinden ſich aber neben dem kohlenſauren Kali noch ſchwefelſaures Salz und Chlorkalium, die man nur theilweiſe durch Kryſtalliſiren entfernen kann. Das auf dieſe Weiſe bereitete gereinigte kohlenſaure Kali iſt daher nie ganz rein; es enthält ſtets neben den genannten Salzen auch noch Kieſelerde. Vom Chlorkalium und dem ſchwefelſauren Kali kann man das kohlenſaure Kali durch eine ähnliche Operation wie ſie aus den Zuckerfabriken unter dem Namen „Decken“ bekannt iſt, befreien, nur iſt dazu ein ziemlicher Aufwand von Zeit erforderlich. Man läßt nämlich durch die Salzmaſſe eine concentrirte Auflöſung von ganz reinem kohlenſauren Kali hindurchſickern, die nach und nach die fremden Salze auflöſt und fortführt. Die Kieſelſäure ſoll nach Artus ſehr leicht entfernt werden, wenn man die Löſung der rohen Pottaſche mit 6 bis 8 Loth friſch geglühter Holzkohle auf jedes Pfund Pottaſche 24 Stunden ſtehen läßt.

Für den chemiſchen und pharmaceutiſchen Gebrauch gewinnt man ein reineres kohlenſaures Kali durch Glühen von Weinſtein (Sal tartari, Kali carbonicum e Tartaro) wobei ſich die Weinſteinſäure in Kohlenſäure verwandelt. Man vermeidet hierbei den rohen Weinſtein wegen ſeines Gehaltes an ſtickſtoffhaltigem Ferment, der zur Bildung von Cyankalium Veranlaſſung giebt. Den reinen Weinſtein glüht man entweder für ſich oder mit der Hälfte ſalpeterſaurem

Kali. Die geglühte Maſſe enthält mehr oder weniger Kohle, die beim Auflöſen zurückbleibt. Oft enthält der Weinſtein Kalk, der mit in das kohlenſaure Kali übergeht und durch vorſichtiges Zuſetzen einer Löſung von oxalſaurem Kali entfernt werden kann. Außerdem ſind noch Talkerde, Chlor und Kieſelſäure darin enthalten, ſo daß es auch hier ſchwer hält, ein vollkommen reines Präparat zu erhalten.

In den Weinländern bereitet man aus den Weinhefen, den Treſtern und Traubenkämmen, wegen ihres Gehaltes an Weinſtein, Pottaſche, die unter den Namen Weinhefenaſche und Waidaſche in den Handel kommt.

Der Geſchmack des kohlenſauren Kalis iſt nicht ätzend; es reagirt deutlich alkaliſch, löſt ſich leicht in Waſſer, aber nicht in Weingeiſt. Es ſchmilzt bei Rothgluth und deshalb bedient man ſich ſeiner häufig als Fluß- und Reductionsmittel. In der Weißgluth verflüchtigt ſich das kohlenſaure Kali. Durch Glühen kann die Kohlenſäure nicht ausgetrieben werden; leitet man aber in der Hitze Waſſerdampf darauf, ſo geht die Kohlenſäure fort. Das kohlenſaure Kali iſt ſeit den älteſten Zeiten im Gebrauch. Früher hielt man es jedoch mit dem kohlenſauren Natron für identiſch, ſo daß beide denſelben Namen — Alkali, aus dem Arabiſchen, Aſche bedeutend — führten. Duhamel (1736) und Marggraf (1758) unterſchieden zuerſt das kohlenſaure Kali von dem Natronſalz.

Stellt man eine concentrirte Auflöſung von kohlenſaurem Kali in flachen Gefäßen in Räume, wo ſich Kohlenſäure (bei der Gährung) entwickelt, ſo wird noch Kohlenſäure aufgenommen und es ſchießt mit der Zeit doppelt kohlenſaures Kali in großen waſſerhellen Kryſtallen an, deren Grundform eine gerade rhombiſche Säule iſt. Das zweite Aequivalent Kohlenſäure iſt nur loſe gebunden, es entweicht mit einem Aequivalent Waſſer beim Erhitzen; leichter noch beim Kochen der Auflöſung.

Salpeterſaures Kali, Salpeter (Kali nitricum, Nitrate de potasse, Nitre). Salpeterſäure bildet ſich bei der Verweſung ſtickſtoffhaltiger, thieriſcher Stoffe (Blut, Urin ꝛc.), wenn ſtarke Baſen (Kali, Natron, Kalk, Bittererde) und hinreichender Luftzutritt vorhanden ſind, bei uns alſo namentlich in Ställen, in der Nähe von Abtritten ꝛc. und deshalb findet man ſtets in dem Waſſer von Brunnen, die in der Nähe ſolcher Orte liegen, einen Gehalt an Salpeter. Oft erkennt man den Vorgang der Salpeterbildung auch an den weißen Ausblühungen auf dem Erdboden, an Mauern, indem das Waſſer, in welchem der Salpeter gelöſt, verdampft und das Salz dann zurückbleibt (auswittert). Aber hier iſt nicht alles Salpeter, was man im gewöhnlichen Leben ſo nennt. Die Ausſchläge an den Mauern ſind meiſtens Folge verſchiedener Zerſetzungen, die zwiſchen verſchiedenen Beſtandtheilen der Bauſteine vor ſich gehen.

Namentlich in heißen Ländern findet die Bildung von Salpeter am Boden in einem größeren Maßſtabe ſtatt als bei uns. Beſonders in poröſem Kalkgeſtein, das nur ſehr geringe Mengen von organiſchen Stoffen enthält, namentlich in Höhlen, ſcheint ſelbſt das Ammoniak oder gar der freie Stickſtoff in der Luft zur Bildung von Salpeterſäure verwendet zu werden. Die hier von der Natur producirten Mengen ſind ſo bedeutend, daß man die in früherer Zeit ſtark betriebene künſtliche Erzeugung von Salpeter in den ſogenannten Salpeterplantagen faſt ganz aufgegeben hat. Man mengte lockere Erde mit Kalk und thieriſchen Stoffen (Blut,

Urin, Horn, Abfällen ꝛc.) und ſchichtete die Haufen ſo auf, daß der Sauerſtoff der Luft überall Zutritt hatte. Dieſer Fabrikationszweig hat auch darum nachgelaſſen, weil der Verbrauch des Salpeters gleichfalls durch das in der Natur in reichlicher Menge vorkommende ſalpeterſaure Natron bedeutend eingeſchränkt worden iſt.

Zur Darſtellung des Salpeters ſammelt man den ausgewitterten rohen Salpeter (Kehrſalpeter). Die ſalpeterſauren Salze zieht man durch Waſſer aus und ſetzt dann eine Auflöſung von kohlenſaurem Kali hinzu, wodurch Kalk und Magneſia gefällt werden. Bei Eindampfen der filtrirten Löſung ſchießt der Salpeter in ſechsſeitigen Säulen an. Durch Umkryſtalliſiren wird er vollends gereinigt. Bei der Bildung der Kryſtalle wird kein Waſſer chemiſch gebunden. Außer in Prismen kryſtalliſirt der Salpeter aber auch in Rhomboedern. Der Geſchmack des Salpeters iſt kühlend; in Waſſer iſt er ziemlich leicht löslich, aber nicht in Alkohol. Durch Hitze wird der Salpeter zerſetzt, es entweicht Sauerſtoff. Bringt man auf geſchmolzenen Salpeter leicht verbrennende Körper (Kohle, Papier), ſo verbrennen dieſe mit lebhafter Flamme. Auf glühenden Kohlen verpufft der Salpeter. Die Verwendung des Salpeters bei der Darſtellung des Schießpulvers hat eben in der leichten Abgabe des Sauerſtoffs ihren Grund. In der Salpeterſäurefabrikation iſt der Salpeter heute zumeiſt durch das ſalpeterſaure Natron erſetzt worden. Weiter wird der Salpeter gebraucht in der Schwefelſäurefabrikation, bei der Darſtellung des Glaſes, beim Einpökeln des Fleiſches und auch als Oxydations- und Flußmittel; eben ſo auch in der Kunſtfeuerwerkerei. In der Medicin findet der Salpeter vielfache Verwendung.

Schwefelſaures Kali, vitriolisirter Weinſtein: (Kali sulphuricum, Tartarus vitriolatus, Sulfate de Potasse) kommt in der Natur im Steinſalz, in Salzſoolen, in den Pflanzen, im Alaunſtein ꝛc. vor; man gewinnt es als Nebenproduct bei verſchiedenen Operationen, ſo bei der Reinigung der Pottaſche, bei der Bereitung der Soda aus der Aſche von Meer- und Strandpflanzen, auf Salinen aus der Mutterlauge. Eine Hauptquelle für die Gewinnung dieſes Salzes iſt jetzt faſt verſiegt, ſeitdem man zur Darſtellung der Salpeterſäure den Chiliſalpeter in ſo großer Menge verwendet. Sonſt fiel es hierbei in großer Menge ab. Dadurch ſind namentlich die Alaunfabrikanten genöthigt worden ihre Zuflucht zu Ammoniakſalzen zu nehmen, die bei dem großartigen Betriebe der trocknen Deſtillation organiſcher Subſtanzen reichlich abfallen. Außerdem findet das ſchwefelſaure Kali in der Medicin, bei der Darſtellung des Glaſes und Salpeters Verwendung. Das ſaure ſchwefelſaure Kali — der Rückſtand bei der Bereitung der Salpeterſäure — hat man als Erſatz der theuern Weinſteinſäure bei der Darſtellung ſchäumender Getränke vorgeſchlagen; doch macht ſich hier ein unangenehmer Beigeſchmack ziemlich bemerklich.

Das ſchwefelſaure Kali kryſtalliſirt in vier- und ſechsſeitigen Säulen; der Geſchmack iſt bitter, ſalzig, etwas ſcharf. Es iſt in Waſſer ziemlich ſchwer, in Alkohol unlöslich.

Chromſaures Kali (vergl. Bd. I. S. 968).

Unterchlorigſaures Kali (KO, ClO). Die Auflöſung deſſelben benutzt man als Bleichmittel (Javelle'ſche Lauge, Eau de Javelle). Vor der Darſtellung des Chlorkalks im Großen benutzte man dieſe Flüſſigkeit zum Bleichen der Gewebe; jetzt jedoch nur noch in der Haushaltung, um Obſt-, Wein-

und Roſtflecke aus der Wäſche zu entfernen. Zu dieſem Ende zieht man Chlorkalk mit Waſſer aus und zerſetzt die Löſung des unterchlorigſauren Kalkes mit kohlenſaurem Kali, wobei der Kalk in Verbindung mit Kohlenſäure als unlöslich ſich ausſcheidet, während das unterchlorigſaure Kali gelöſt bleibt.

Chlorſaures Kali (KO, ClO^5) erhält man, wenn man in eine concentrirte Kalilöſung Chlorgas leitet; es bildet ſich Chlorkalium und chlorſaures Kali; erſteres iſt leicht löslich, letzteres ſcheidet ſich in kleinen weißen, perlmutterglänzenden, tafelförmigen rhombiſchen Kryſtallen aus ($6\,KO + 6\,Cl = 5\,ClK + KO, ClO^5$). Es ſchmilzt in gelinder Hitze ohne Zerſetzung, in ſtärkerer Hitze aber wird es zerſetzt und darauf beruht die Darſtellung des Sauerſtoffgaſes, das allgemein zu chemiſchen Zwecken aus dieſem Salz bereitet wird. Früher wurde daſſelbe viel zu den bekannten Schwefelhölzern verbraucht, die jetzt aber durch die Phosphorſtreichhölzchen ganz verdrängt worden ſind. Dieſe Verwendung beruhte darauf, daß das chlorſaure Kali durch concentrirte Schwefelſäure unter Feuererſcheinung zerſetzt wird, dadurch entzündet ſich der Schwefel an dem Hölzchen und durch den aus dem chlorſauren Kali entbundenen Sauerſtoff entſteht die Flamme, ſo daß auch das Holz ſelbſt in Brand geräth. Auch bei der Anfertigung der Reibzündhölzer wird dieſes Salz gebraucht, aber in geringerer Menge, da die Maſſe beim Streichen heftig knallt. In der Kunſtfeuerwerkerei verwendet man das chlorſaure Kali häufig; beim Miſchen der verſchiedenen Subſtanzen muß man ſehr vorſichtig ſein, weil das chlorſaure Kali beim Reiben leicht explodirt; eben ſo, wenn man es mit Schwefel gemiſcht hat, durch einen kräftigen Hammerſchlag. Man hat vielfach verſucht, das chlorſaure Kali ſtatt des Salpeters bei der Bereitung des Schießpulvers anzuwenden, aber die Entmiſchung erfolgt hier zu plötzlich; außerdem iſt die Darſtellung, Aufbewahrung und Transportirung eines ſolchen Pulvers ſehr gefährlich, weil die unbedeutendſten Umſtände heftige Exploſionen hervorrufen. In der Kattundruckerei bedient man ſich des chlorſauren Kalis gleichfalls als oxydirendes Mittel.

Kieſelſaures Kali, Waſſerglas, verre soluble. Nach den Angaben von Fuchs bereitet man dieſe in Waſſer lösliche Verbindung durch Zuſammenſchmelzen von 3 Th. feinem Quarzſand, 2 Th. gereinigter Pottaſche und $^1/_3$ Kohlenpulver. Letzteres ſetzt man hinzu, um das in der Pottaſche enthaltene ſchwefelſaure Kali zu zerſetzen und für die Vereinigung mit der Kieſelſäure geeignet zu machen. Die in der Glasmaſſe enthaltenen fremden Salze entfernt man ſehr leicht durch Waſſer, nachdem man die gepulverte Maſſe einige Zeit der Einwirkung der Luft ausgeſetzt hat. Durch Kochen in Waſſer (5 bis 6 Th.) löſt ſich das kieſelſaure Kali auf; verdunſtet das Waſſer, ſo bildet ſich ein glasglänzender Ueberzug nach Art eines Firnißüberzuges. Dieſe Eigenſchaft macht die Löſung des Waſſerglaſes zu mancherlei Anwendung geſchickt. Leicht Feuer fangende Gegenſtände (Leinwand, Holz, Tapeten, Decorationen mancherlei Art) werden durch einen Ueberzug von Waſſerglas ſehr geſchützt. Dies wäre namentlich zu beachten für Orte (Theater, Concerte, Ballſäle ꝛc.), an denen eine große Menſchenmenge verſammelt iſt. Freilich feuerfeſt werden die Gegenſtände dadurch nicht gemacht, aber doch vor einem leichten Feuerfangen geſchützt und dadurch könnte viel Unglück verhütet werden. Wird Holz, das mit einem ſolchen Ueberzuge verſehen iſt, lange Zeit der Einwirkung eines Feuers ausgeſetzt, ſo entwickeln ſich unter dem Ueberzuge Dämpfe, die dieſen zerreißen und dadurch einen Ausweg finden. Dieſe Dämpfe

entzünden ſich und durch die Riſſe findet mit der Zeit die Flamme auch ihren Weg nach innen. — Noch weniger Beachtung haben leider die Bemühungen von Fuchs gefunden, dem Waſſerglas eine Anwendung in der Malerei zu verſchaffen. Es iſt über allen Zweifel bewieſen, daß durch das Waſſerglas Malereien gegen die Einwirkung der Atmoſphäre vollſtändig geſchützt werden können (Stereochromie) und doch macht man ſo ſelten Anwendung davon. Befremdend iſt es, daß man namentlich in München, dem Orte, wo Fuchs wirkt, dieſes Verfahren gar nicht beachtet hat. In neueſter Zeit iſt durch Verſuche dargethan worden, daß man mit Hülfe des Waſſerglaſes die Oefen in unſeren Zimmern durch Malereien verzieren kann. — Taucht man Gyps in eine Auflöſung von Waſſerglas, ſo wird er dadurch bedeutend gehärtet. Bei Gypsfiguren benutzt man zu dieſem Zwecke das Waſſerglas.

Aus der großen Menge der Verbindungen des Kaliumoxydes mit organiſchen Säuren führen wir nur einige wenige an, die im Leben Verwendung finden. Eſſigſaures Kali (vergl. Bd. II. S. 932). Saures weinſteinſaures Kali ($C^8 H^4 O^{10}$, KO, HO), Cremor tartari, erhält man aus dem rohen Weinſtein, der ſich bei der Gährung des Traubenſaftes in dem Maße, als ſich der Alkoholgehalt mehrt, eben ſo bei der Lagerung der Weine, ſcheidet durch Auflöſen in Waſſer und Kryſtalliſiren. Um die in großer Menge in dem rohen Weinſtein enthaltenen färbenden organiſchen Subſtanzen zu entfernen, klärt man die Löſung mit Thon. In der Pharmacie dient dieſes Salz als Ausgangspunkt für verſchiedene wichtige Präparate; die Weinſteinſäure findet wegen ihres angenehmen Geſchmackes auch außerhalb derſelben eine vielfache Verwendung. In der Färberei bedient man ſich gleichfalls weinſteinſaurer Salze, doch iſt jüngſt durch Calvert*) dargethan, daß die Haltbarkeit der Linnen- und Baumwollengewebe durch Weinſteinſäure ſehr leidet. Durch Sättigen mit kohlenſaurem Kali erhält man aus dem ſauren weinſteinſauren Kali das neutrale. Letzteres iſt in Waſſer leicht, erſteres ſehr ſchwer löslich. Liebig hat das neutrale weinſaure Kali empfohlen, um ſaure Weine lieblicher zu machen**). Alte Weine enthalten neben dem ſauren weinſteinſauren Kali auch noch freie Säure, die man durch Zuſatz einer Löſung von neutralem weinſteinſauren Kali entfernen kann. Es bildet ſich ſaures weinſteinſaures Kali und da hiermit der Wein geſättigt iſt, ſo ſcheidet ſich das neugebildete Salz vollſtändig ab. Liebig hat dieſes Mittel bei einem Weine vom Jahre 1811 in Anwendung gebracht. Auf 1 heſſiſche Maß (2 Litres) ſetzte er 7 Grammen weinſauren Kalis zu, die eine bedeutende Menge Weinſtein abſchieden. Die hierdurch erzielte Verbeſſerung des Weines war im höchſten Grade auffallend. Nach acht Tagen war der Wein an Lieblichkeit und mildem Geſchmack einem ſüdlichen Weine gleich, ohne irgend eine der Tugenden, welche den Rheinwein auszeichnen, verloren zu haben. Will man dieſes Mittel zur Anwendung bringen, ſo muß man vorher die erforderliche Menge des Zuſatzes genau erforſchen, da ein Ueberſchuß deſſelben einen ſchädlichen Einfluß auf den Geſchmack des Weines ausübt. Vor der Gährung darf die freie Säure durchaus nicht fortgenommen werden, weil ſie es iſt, von deren Anweſenheit der Geſchmack und die Haupteigenſchaften des Weines abhängig ſind. Am Rheine bringt man ſchon Mittel dieſer Art (Pottaſche, Kalk)

*) L'Institut 1854. No. 1092. p. 424.
**) Ann. d. Chem. und Pharm. Bd. LXV. S. 352.

Digitized by Google

in Anwendung, aber ſie ſind mehr ſchädlich als nützlich; die Säure wird durch Pottaſche freilich abgeſtumpft, aber ſie bleibt als neutrales weinſaures Kali im Weine; Kalk ertheilt dem Weine einen ſehr leicht kenntlichen Beigeſchmack und zudem verliert der Wein durch dieſe Mittel ſein Aroma. — Das ſaure oxalſaure Kali, Sauerkleeſalz (Oxalium, Sal acetosellae, $2\,C^2\,O^3$, $KO + 2\,HO$) kommt in dem Safte einiger Pflanzen, die ſich durch einen ſauren Geſchmack auszeichnen (Rumex acetosa, Oxalis acetosella) vor. Der ausgepreßte Saft wird durch Klären mit Eiweiß gereinigt und eingedampft; das Salz ſchießt in ſchiefen rhombiſchen Säulen an. Man verwendet es häufig zur Beſeitigung von Tintenflecken, beſonders in der Wäſche. — Die Eigenſchaft des ſauren zuckerſauren Kalis ($KO, 2\,C^6\,H^4\,O^7 + HO$), Silber aus ſeinen Löſungen bei Gegenwart von Ammoniak als einen glänzenden Metallſpiegel zu reduciren, könnte mancherlei Verwendungen in der Technik finden. Von den zahlreichen Verbindungen des Kaliums mit anderen Elementen verdienen beſonders die mit Chlor, Brom, Jod und Schwefel beſprochen zu werden. Chlorkalium, das in Steinſalz, Salzſoolen, im Meerwaſſer und in Pflanzen vorkommt, gewinnt man bei mancherlei Operationen als Nebenproduct, ſo bei der Darſtellung des chlorſauren Kalis, aus der Mutterlauge auf Salinen, beim Seifeſieden ꝛc. Das auf die zuletzt genannte Art gewonnene Salz — Seifenſiederfluß oder auch Fluß genannt — benutzt man in Glashütten und Alaunwerken. Sonſt dient das Chlorkalium zu Kältemiſchungen und zur Bereitung von Eis. Die Kryſtalle des Chlorkaliums ſind Würfel. In der Hitze ſchmilzt daſſelbe und verflüchtigt ſich. — Jodkalium. Das in der Natur vorkommende wird zur Darſtellung von Jod verwendet und aus dieſem erſt das Jodkalium künſtlich wieder bereitet. In der Medicin wird es maſſenweiſe verbraucht. Für die Bereitung deſſelben hat man eine Unzahl von Vorſchriften angegeben. Wir erwähnen hier nur, daß die Darſtellung des Salzes viele Aehnlichkeit hat mit der des chlorſauren Kalis; durch Eintragen von Jod in Kalilauge bildet ſich jodſaures Kali und Jodkalium ($6\,J + 6\,KO = 5\,KJ + KO, JO^5$). Dampft man das Ganze zur Trockne ein und erhitzt den Rückſtand ſtark, ſo giebt das jodſaure Kali ſeinen Sauerſtoff ab und verwandelt ſich in Jodkalium. Die im Handel vorkommenden Kryſtalle ſind ſtets matt und undurchſichtig. Stephani ſchreibt dies *) Unreinigkeiten, nicht einer moleculären Wirkung zu. Er hat eine Darſtellungsmethode angegeben, die bei Anwendung reiner Materialien ſtets vollkommen klare und durchſichtige Kryſtalle liefern ſoll. Dieſe Methode beruht im Weſentlichen auf der Reduction des jodſauren Kalis zu Jodkalium durch Schwefelwaſſerſtoff. Er fügt der Lauge eine Menge Jod hinzu, die gleich iſt derjenigen, welche vorher bis zur anfangenden Färbung eingetragen worden iſt. Dann ſetzt er Kaliumſulphhydrat hinzu, das durch Sättigen einer der zur Auflöſung des Jods verwendeten Menge gleichen Quantität Kalilauge mit Schwefelwaſſerſtoff dargeſtellt worden iſt. Durch Filtriren entfernt man den reducirten Schwefel und dampft die Flüſſigkeit ein. — Mit dem Schwefel verbindet ſich das Kalium in 5 verſchiedenen Verhältniſſen, je ein Atom des letzteren mit 1 bis 5 Atomen des erſteren. Glüht man ſchwefelſaures Kali mit Kohle ($SO^3\,KO + 4\,C = KS + 4\,CO$), ſo erhält man das einfach Schwefelkalium (KS), eine rothe, an der Luft leicht zerfließliche Maſſe. Hat

*) Journ. de Chim. et de Pharm. T. XXVI. p. 430.

man Kohle im Ueberſchuß angewendet, ſo entzündet ſich die Maſſe in feuchter Luft ſehr leicht. Das fünffach Schwefelkalium (KS^5) findet vielfach mediciniſche Anwendung. Es iſt dies die bekannte Schwefelleber (Hepar sulphuris, Kali sulphuratum). Bereitet wird ſie durch Zuſammenſchmelzen von kohlenſaurem Kali und Schwefel. Eine reine Verbindung erhält man hier nicht, je nach der angewendeten Hitze bildet ſich auch ſchwefel- oder unterſchwefligſaures Kali, gemeinhin aber alle beide. — Die Verbindungen des Kaliums mit Metallen haben wenig Intereſſe. Mit manchen Metallen verbindet ſich das Kalium unter Feuererſcheinung.

Von den Verbindungen des Kaliums mit organiſchen Radikalen iſt die wichtigſte das Cyankalium (K, C^2N) und die beiden Verbindungen deſſelben mit Cyaneiſen (vergl. Bd. II. S. 619). Für gewöhnlich dient das gelbe Blutlaugenſalz zur Darſtellung des Cyankalium, ſei es, daß es für ſich, nachdem es vom Kryſtallwaſſer durch Trocknen befreit, geſchmolzen und ſo lange erhitzt wird bis das Entweichen von Stickſtoff aufhört und das Cyaneiſen in Kohlenſtoffeiſen verwandelt worden iſt oder ſei es, daß es nach den Angaben von Liebig mit kohlenſaurem Kali zuſammen geſchmolzen wird. Beide Methoden haben ihre Uebelſtände; dort geht das mit dem Eiſen verbundene Cyan verloren, hier wird es zwar gewonnen, neben dem Cyankalium aber bildet ſich auch cyanſaures Kali. Die folgenden Formeln geben uns eine Ueberſicht von dieſen Zerſetzungsproceſſen.

1) $\underbrace{2\,(K, C^2N) + Fe\,C^2N}_{\text{Ferrocyankalium}} = \underbrace{2\,(K, C^2N)}_{\text{Cyankalium}} + \underbrace{Fe\,C^2}_{\text{Kohlenſtoffeiſen}} + \underbrace{N}_{\text{Stickſtoff.}}$

2) $\underbrace{2\,(2\,(K, C^2N) + Fe, C^2N)}_{\text{Ferrocyankalium}} + \underbrace{2\,(KO, CO^2)}_{\text{kohlenſaures Kali}} = \underbrace{5\,(K, C^2N)}_{\text{Cyankalium}} + \underbrace{KO, C^2N}_{\text{cyanſaures Kali}} + \underbrace{2\,Fe\,O}_{\text{Eiſenoxydul}} + \underbrace{2\,CO.}_{\text{Kohlenoxyd.}}$

Will man das Cyankalium rein darſtellen, ſo ſättigt man eine alkoholiſche Löſung von reinem Kali mit einer gleichen Löſung der Cyanwaſſerſtoffſäure (Blauſäure), wobei ſich das Cyankalium ausſcheidet. Daſſelbe bildet ſich auch, wenn man Cyangas über Kalium leitet. Es erzeugt ſich in manchen Hohöfen in großer Menge, daß es mit Vortheil in den Handel gebracht wird. Durch Bunſen iſt dargethan, daß ſich Cyan bildet, wenn Stickſtoff in der Weißglühhitze mit einem Gemenge von kohlenſaurem Kali und Kohle in Berührung kommt. In der Technik ſcheint dieſe wichtige Frage noch nicht gelöſt worden zu ſein, obgleich Bunſen dazu beachtenswerthe Winke gegeben hat.

In der Kryſtallform ſtimmt das Cyankalium mit dem Kochſalz überein; es reagirt alkaliſch, iſt ein ſtarkes Gift, und kann nur im trockenen Zuſtande aufbewahrt werden. Bei Gegenwart von Feuchtigkeit verwandelt es ſich bald in Kohlenſäure und Ammoniak. In der analytiſchen Chemie dient es zur Trennung verſchiedener Metalle *). In der Technik wendet man das Cyankalium als Löſungs-

*) Liebig, über Darſtellung und Anwendung des Cyankaliums, Ann. der Chem. und Pharm. Bd. XLI. S. 285. — Haidlen und Freſenius, über die Anwendung des

mittel bei Gold und Silber an bei der galvanischen Vergoldung und Versilberung. — Das Schwefelcyankalium, Rhodankalium ($C^2 NS^2$, K) ist das empfindlichste Reagens auf Eisen. Ein Niederschlag wird in Eisenoxydlösungen nicht bewirkt, wohl aber eine intensive blutrothe Färbung. Die Gegenwart des Eisens wird dadurch selbst in so verdünnten Lösungen nachgewiesen, daß kein anderes Reagens irgend eine Veränderung darin hervorbringt. In diesen Fällen erkennt man die rothe Färbung deutlicher, wenn man das Proberöhrchen auf weißes Papier stellt und von oben hinein sieht.

Die Gegenwart von Kali wird erkannt durch Platinchlorid und Weinsteinsäure. Durch ersteres entsteht in Kalilösungen, die durch Salzsäure sauer gemacht und mit Alkohol versetzt worden sind, ein krystallinischer gelber Niederschlag (eine Verbindung von Chlorkalium mit Platinchlorid $PS Cl^2$, K Cl). Dieselbe Reaction zeigten aber auch die Ammoniakverbindungen; daher muß man sich vorher überzeugen, ob solche zugegen sind und diese nöthigenfalls durch Erhitzen fortschaffen. Das Platinchlorid dient auch zur quantitativen Bestimmung des Platins. In nicht sehr verdünnten Lösungen entsteht auch durch einen Ueberschuß von Weinsteinsäure ein weißer krystallinischer Niederschlag — saures weinsteinsaures Kali, — dessen Bildung durch Schütteln beschleunigt werden kann. Bei dieser Prüfung muß aber die Kalilösung neutral sein, weil das saure weinsteinsaure Kali durch Säuren in Auflösung erhalten wird. Auch gegen Weinsteinsäure verhalten sich die Ammoniaksalze eben so wie die Kaliverbindungen. Vor dem Löthrohre erkennt man die Gegenwart von Kali sehr leicht an der violetten Farbe, die es der Flamme mittheilt; eine geringe Spur von gleichzeitig anwesendem Natron verdeckt aber diese Reaction vollständig. W. B.

Kalk, s. Calcium.

Kammer, dunkle, s. Camera obscura.

Kammer, lichte, s. Camera lucida.

Kammrad, s. Räderwerk.

Kapselbarometer, s. Barometer.

Karatirung, s. Gold.

Kastengebläse, s. Gebläse.

Katakaustische Linien, s. Brennlinie und Linsenglas.

Katoptrik, s. Optik.

Kautschuk (Caoutschuk, indianisch-südamerikanischen Ursprunges). Federharz, elastisches Harz, Gummi elasticum, Resina elastica, franz. Gomme elastique, engl. Elastic gum, India Rubber. — ist in größerer oder geringerer Menge in dem Milchsaft vieler Pflanzen enthalten. Oben an steht die Familie der Euphorbiaceen (Wolfsmilcharten), Apocyneen und der Urticeen (Nesselpflanzen). Die Hauptpflanzen, welche Kautschuk liefern, sind Siphonia Cahucu (Jatropha elastica L.), Urceola elastica Roxb., Vahea gummifera Pois, Collophora utilis Mart., Hancornia speciosa Mart., Wil-

---

Cyankaliums in der chemischen Analyse, Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XLIII. S. 129. — Liebig, über die Scheidung des Nickels vom Kobalt, Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXV. S. 244. — H. Rose, über die Anwendung des Cyankaliums in der analytischen Chemie, Pogg. Ann. Bd. XC. S. 193 und Bd. XCI. S. 104.

lughbeja edulis Roxb., Ficus religiosa, indica, benjaminea L., elastica Roxb. Alle dieſe Pflanzen gehören der heißen Zone an; wir erhalten das Kautſchuk aus Braſilien, Guyana, überhaupt aus Südamerika und Weſtindien; eben ſo wird aus Oſtindien viel eingeführt und in ſpäterer Zeit wird auch Afrika große Mengen deſſelben in den Handel liefern.

In dem Milchſaft einer großen Reihe europäiſcher Pflanzen — der ſyriſchen Seidenpflanze (Asclepias syriaca), der Wolfsmilch (Euphorbia Cyparissias u. A.), des Salats (Lactuca sativa), des Mohns (Papaver somniferum) und daher auch im Opium, in welchem Bucholz bereits 1800 das Kautſchuk auf das Beſtimmteſte nachgewieſen hat, Cichorien (Cichorium Intybus) und in noch anderen Gewächſen, — kommt zwar auch Kautſchuk vor, aber doch nur in ſehr geringen Mengen. Selbſt Pflanzen, die in ihrer warmen Heimath, reichlich Kautſchuk liefern, geben bei uns in Treibhäuſern einen Milchſaft, der mehr einen dem Vogelleim ähnlichen Stoff enthält.

Man gewinnt den Milchſaft in Südamerika und Oſtindien dadurch, daß man in den Stamm Einſchnitte bis auf das Holz macht, aus denen dann der weiße, klebrige Saft reichlich fließt. Gewöhnlich überzieht man Formen aus Thon in Geſtalt kleinerer oder größerer Flaſchen mit dem Milchſaft, läßt den Ueberzug an der Luft trocknen und wiederholt dies ſo oft, bis man die erforderliche Dicke erreicht hat. Man trocknet den Saft auch am Feuer ein, wobei er durch den Rauch eine braune oder ſchwarze Farbe erhält, die zum Theil auch von beigemengten Unreinigkeiten herrührt. Man zerſchlägt dann die Thonformen und hat nun den Kautſchuk in Form von Flaſchen, wie ſie uns der Handel überliefert. In neuerer Zeit kommt das Kautſchuk auch in Form von Halbſtiefeln, die auf ähnliche Art erzeugt werden, in den Handel oder in Form von dicken Tafeln (2 Fuß lang, 1 Fuß breit und 2 bis 3 Zoll dick). Um dieſe Blöcke zu erhalten, läßt man den Saft wahrſcheinlich in kleinen Gruben am Fuße der Bäume eintrocknen. Schneidet man eine ſolche Tafel durch, ſo zeigt das Innere die weiße Farbe des reinen Kautſchuk (Speckgummi). Das Innere iſt porös, dem Käſe ſehr ähnlich und beſitzt einen fauligen Geruch.

Die Pflanzen der drei genannten Familien zeigen einen eigenthümlichen anatomiſchen Bau. Die Rinde und zum Theil auch das Mark wird von einer großen Zahl röhrenförmiger Gefäße durchzogen, die in ihrer vielfachen Veräſtelung den Adern des thieriſchen Körpers ſehr ähnlich ſehen. Dieſer Umſtand gab dem durch ſeine ſonderbaren Ideen hinreichend bekannten Berliner Profeſſor Schulz Veranlaſſung den darin enthaltenen Milchſaft, gleich dem Blute bei den Thieren, für den Lebensſaft der Pflanzen anzuſehen.

Der in dieſen Gefäßen enthaltene Saft iſt trübe und beſitzt die Conſiſtenz einer recht fetten Milch; wie dieſe beſteht auch er aus einer klaren Flüſſigkeit, in der eine große Menge kleiner Kügelchen (eben das Kautſchuk) umherſchwimmen. Das Zuſammenfließen derſelben wird wie bei der thieriſchen Milch das der Fettkügelchen durch eine eiweißartige Subſtanz verhindert und eben ſo wie dieſe ſetzen auch jene ſich in der Ruhe an der Oberfläche ab. Jetzt kommt auch der Milchſaft, welcher durch Eintrocknen Kautſchuk liefert, als ſolcher, ſei es in kupfernen Behältern oder in Flaſchen aus Kautſchuk ſelbſt mehr als ſonſt in den Handel. Die Zuſammenſetzung deſſelben iſt nach Faraday folgende: 31,7 Kautſchuk, 1,90 Eiweiß, 7,13 einer ſehr bittern, ſtickſtoffhaltigen Subſtanz, 2,9 eines nicht in

Alkohol löslichen Extractivſtoffes und 56,37 Waſſer mit etwas Säure. Der Saft hat die Eigenſchaft beim Erhitzen oder bei Zuſatz von Alkohol zu gerinnen; Alkalien dagegen bewirken dies nicht. Der Saft beſitzt einen ſäuerlichen, fauligen Geruch, der davon herrührt, daß das Eiweiß zum Theil bereits in Fäulniß übergegangen iſt. Setzt man den Saft in dünnen Lagen der Luft aus, ſo erhärtet er bald und verwandelt ſich in ein zähes, braungelbes Kautſchuk. Das ſpec. Gew. des Saftes beträgt 1,01174.

In neuerer Zeit hat Adriani Gelegenheit gehabt den friſch ausgefloſſenen Milchſaft von Ficus elastica, aus welchem in Oſtindien bedeutende Mengen von Kautſchuk gewonnen werden, näher zu unterſuchen *). Er fand, daß der Saft um ſo wäſſeriger iſt, je näher der Theil, aus welchem er ſtammt, dem oberen Ende der Pflanze liegt. Dies giebt ſich ſchon in dem äußeren Anſehen zu erkennen. Der Gehalt an feſten Stoffen differirte in den aus verſchiedenen Höhen erhaltenen Säften ziemlich bedeutend (zwiſchen 17,7 und 25,15 Proc.). Der friſche Milchſaft reagirt ſauer; ſetzt man etwas Waſſer hinzu, ſo entſteht keine Veränderung. Beim Zuſatz von Alkohol ſcheiden ſich viele kleinere nadelförmige Kryſtalle aus, die ſich in Gruppen mit einander vereinigen. Dieſe Kryſtalle ſind eine Verbindung der Talkerde mit einer eigenthümlichen organiſchen Säure, die aber nicht näher erforſcht worden iſt. Setzt man Aether hinzu, ſo findet dieſelbe Ausſcheidung ſtatt; außerdem aber gehen die Kügelchen zuſammen. Salpeterſäure bewirkt in dem Saft einen geringen weißen Niederſchlag, der ſich in Ammoniak nicht wieder auflöſt; durch Zuſatz von Ammoniak oder Kali färbt ſich die Flüſſigkeit gelb. Die durch Alkali gelb werdende Subſtanz hält Adriani für dieſelbe, welche durch Salpeterſäure niedergeſchlagen wird; Eiweiß oder eine andere Proteinverbindung ſoll es nicht ſein. Faraday giebt zwar an, daß er Pflanzeneiweiß im Kautſchuk-Milchſaft gefunden habe, Ure hat aber ſpäter dieſe Subſtanz nicht darin angetroffen. Adriani überzog mit dem ihm zu Gebote ſtehenden Safte Glastafeln; beim Austrocknen der dünnen Lagen blieb ein häutiger Ueberzug.

Die Zuſammenſetzung dieſes Milchſaftes giebt Adriani folgendermaßen an. Waſſer 82,3, Kautſchuk 9,57, Harz (in Alkohol, aber nicht in Aether löslich) 1,58, Talkerdeſalz einer organiſchen Säure und ein in Waſſer und Alkohol, aber nicht in Aether löslicher Stoff (Zucker?) 0,36, eine in Waſſer lösliche Subſtanz, die, die mit Alkalien gelb wird, Dextrin (?), Spuren von Kalk- und Natronſalzen 2,18 = 100,48.

Um reines Kautſchuk darzuſtellen, vermiſcht man den Saft mit dem 4fachen Gewicht Waſſer; die Kautſchukkügelchen ſetzen ſich dann in der Ruhe gleich dem Rahm auf der Oberfläche ab und werden durch Waſchen mit Waſſer möglichſt von allen Verunreinigungen befreit. Das dem Kautſchuk nun mechaniſch beigemengte Waſſer muß durch poröſe Körper (Gyps, Ziegelſteine) oder durch Anwendung von Wärme entfernt werden, da es das Zuſammengehen der Kügelchen verhindert. Je mehr man das Waſſer entfernt, um ſo zäher und zuſammenhängender wird die Maſſe und zuletzt kann man die letzten Antheile des Waſſers durch Kneten entfernen. Adriani ſtellte das reine Kautſchuk leicht dar durch Auflöſen des käuf-

*) Verhandeling over de Gutta Percha en Cautchouc en derselver verhanding etc. Utrecht 1850; im Auszuge chem. pharm. Centralbl. 1851. S. 17.

lichen in Chloroform und Fällen mit Alkohol. In diesem Zustande besitzt es große Aehnlichkeit mit Gummi arabicum. In dünnen Lagen ist es durchsichtig und weiß, in dickeren gelblich. Das gereinigte Kautschuk enthält nach Adriani 0,333 Proc. unorganische Stoffe. Das specifische Gewicht giebt Faraday zu 0,925 an. Nach diesem ist das Kautschuk ein Kohlenwasserstoff ($C^8 H^7$). Dieselbe Zusammensetzung giebt Payen an, während Soubeiran die Formel $C^{12} H^{10}$ aufstellt, wobei jedoch die procentischen Zahlen der Bestandtheile nur sehr wenig differiren. Es ist jedoch wahrscheinlich, daß das Kautschuk ein Gemenge verschiedenartiger Verbindungen ist.

Sobald die Kautschukkügelchen einmal zusammengegangen sind und eine zusammenhängende Masse bilden, so können sie auf keine Weise wieder in den früheren emulsionsartigen Zustand zurückgeführt werden. Summers giebt zwar an, daß dieser Zweck durch Anwendung von Ammoniak erreicht werden könne, aber Adriani konnte eine solche Zertheilung hierdurch nicht bewerkstelligen, eben so wenig auf irgend eine andere Weise.

Nach Payen *) unterscheidet man im Handel folgende Sorten von Kautschuk: 1) den weißen, undurchsichtigen, in mehr oder weniger umfangreichen Massen, 2) in unregelmäßigen, schwachgelblichen und durchscheinenden Blättern oder Platten, 3) in dicken Blättern oder kugeligen, hohlen oder vollen Massen, von graubrauner und matter Farbe, 4) in den vorigen Formen, aber braun beim Zerschneiden in dünne Stücken mehr oder weniger durchscheinend und fahlgelb. Unterm Mikroskop beobachtet man an den sehr dünnen Platten zahlreiche, unregelmäßig rundliche Poren, welche mit einander in Verbindung stehen und durch Einsaugung von Flüssigkeit erweitert werden. Dünne Schnitte der ersten beiden Sorten dreißig Tage hindurch in Wasser getaucht, absorbirten die eine 18,7, die andere 26,4 Proc. Wasser. Die erstere nahm in der Länge um 5 Proc. und an Volumen um 15,75 Proc. zu. Dickere Massen erfordern längere Zeit, um sich mit Wasser zu sättigen; um die Flüssigkeit dann wieder vollständig zu entfernen, ist eine lange Zeit erforderlich, denn da die oberen Schichten zuerst austrocknen, ziehen sich die Poren darin beträchtlich zusammen und verhindern das weitere Austrocknen der inneren Theile.

Bei Käufen hat man diese Wässerung sehr zu berücksichtigen, da der wirkliche Werth dadurch um 18 bis 26 Proc. vermindert werden kann und die dadurch entstehende weißere Farbe scheinbar eine bessere Sorte anzeigt. Die Gegenwart des Wassers verhindert ferner das Eindringen der Lösungsmittel und vermindert die Zähigkeit des Kautschuks eben so wie seine Dehnbarkeit. Die Weiße und Undurchsichtigkeit des Kautschuks rührt im Allgemeinen nur von dazwischen gelagertem Wasser her, denn ein vollkommenes Austrocknen genügt, um die Färbung und Durchsichtigkeit hervorzubringen.

Wasserfreier Alkohol durchdringt Kautschuk eben so leicht und durchsichtige Stücke werden ebenfalls mit der Zeit undurchsichtig. Das Kautschuk erlangt durch Einweichen in Alkohol eine bemerkenswerthe, adhärirende Eigenschaft, die zum Theil selbst nach dem Verdampfen des Alkohols bleibt.

Die vorzüglichste Eigenschaft des Kautschuks ist seine ungemeine Elasticität;

*) Compt. rend. T. XXXIV. p. 2.

in der Kälte wird es zwar hart und steif, beim Erwärmen aber gleich wieder biegsam; Sprödigkeit zeigt es nie. Fäden oder Riemen, die bei + 15 oder 25° ausgespannt und bis auf 0° abgekühlt sind, behalten ihre Ausdehnung und Steifigkeit bei gewöhnlicher Temperatur bei; sie ziehen sich aber plötzlich wieder zusammen und nehmen ihre ursprüngliche Elasticität wieder an, wenn sie bis auf 35 oder 40° erwärmt werden. Von diesen Eigenschaften macht man bei der Anfertigung elastischer Gewebe vortheilhafte Anwendungen. In warmem Wasser quillt das Kautschuk zwar auf, ist aber nicht im geringsten darin löslich, eben so wenig in Alkohol; in alkoholfreiem Aether jedoch löst es sich nach und nach auf oder vielmehr es wird nur äußerst fein darin zertheilt; durch Alkohol wird es wieder niedergeschlagen. Von fetten Oelen wird es nur in geringer Menge aufgelöst. Die besten Lösungsmittel sind: harz- und wasserfreies Terpentinöl, rectificirtes Steinöl, das leichte Steinkohlentheeröl und das Oel, welches man durch trockene Destillation des Kautschuks selbst erhält. Ein besseres Lösungsmittel als das gewöhnliche Terpentinöl, soll das sogenannte Tannenzapfenöl (Oleum abietinum, aus den Zapfen von Pinus Abies gewonnen), das dünnflüssiger ist, abgeben.

Drückt man zwei frischgeschnittene Stellen fest an einander, so haften sie der Art aneinander, daß dadurch selbst ein luftdichter Verschluß gebildet wird. Diese Eigenschaft macht das Kautschuk für den Chemiker unentbehrlich; auf die leichteste Art stellt er Röhren dar, mit Hülfe deren er Gasleitungen luftdicht verbindet oder mancherlei complicirte Apparate herstellt. Man legt einfach ein kleines Stück der Kautschukplatte über eine Glasröhre von passendem Durchmesser so zusammen, daß beide Ränder flach auf einander liegen und schneidet diese dann mit einer scharfen Scheere auf einmal ab. Klaffen die Schnittflächen noch etwas, so drückt man sie sorgfältig an einander und die Röhre ist fertig. Hierbei kommt noch der Umstand zu Gute, daß das Kautschuk so leicht nicht durch Flüssigkeiten und Dämpfe angegriffen wird; Chlor, Salzsäure, viele andere Säuren, kaustische Alkalien wirken auf Kautschuk nicht ein. Concentrirte Schwefelsäure bewirkt eine Verkohlung der Oberfläche und bei höherer Temperatur eine weitere Zersetzung; es entwickelt sich schweflige Säure und das Kautschuk wird weich wie Terpentin. Durch Salpetersäure wird das Kautschuk gelb gefärbt; in der rauchenden Säure löst es sich unter Entwickelung von Stickstoffoxydgas. Sehr schnell wird das Kautschuk auch zersetzt durch ein Gemenge von concentrirter Schwefelsäure und Salpetersäure. — Das Kautschuk ist ein schlechter Leiter der Elektricität, während es selbst durch Reiben — elektrisch wird.

Adriani giebt das spec. Gew. des käuflichen Kautschuks bei 20° C. zu 0,9628 für Speckgummi und zu 0,9454 für Flaschengummi an. Erhitzt man Kautschuk für sich, so wird es schon bei 50° weich, bei 100 bis 120° noch mehr, bei 150° bleibt es an trockenen Körpern hängen; bis zu diesen Temperaturen erwärmt nimmt es beim Erkalten seine vorige Beschaffenheit wieder an. Steigert man aber die Hitze weiter, so fängt es bei 200° an zu schmelzen, wird sehr klebrig und behält diese Eigenschaft auch nach dem Erkalten. Bis 230° erwärmt bildet es eine schmierige Masse, mit der man Stahl überzieht, um ihn vor Rost zu schützen. Bei Luftzutritt läßt es sich entzünden und brennt dann mit heller, rußender Flamme. Eben so in Salpetersäuredampf. Speckgummi hinterläßt nach Adriani 0,487 Proc. Asche.

Bei der trocknen Destillation erhält man aus dem Kautschuk Oele von ver-

schiedener Flüchtigkeit, die aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehen. Bevor sich die Wissenschaft mit der Erforschung dieser Frage beschäftigte, wurde die trockne Destillation des Kautschuks bereits in der Technik ausgeführt. Enderby in London ließ sich Anfangs der dreißiger Jahre diesen neuen Industriezweig patentiren. Bei vorsichtiger Destillation des Kautschuks und durch Rectification des ersten Destillates erhielt er eine farblose, eigenthümlich ätherisch riechende Flüssigkeit von 0,68 spec. Gew., deren Siedepunkt unter 38° C. lag. Diese Flüssigkeit diente unter dem Namen Cautschoucine besonders zur Auflösung des Kautschuks und zur Darstellung von Firnissen. Bei der trocknen Destillation sollen 88 bis 92 Proc. dieses Oeles gewonnen werden. - Bei der fabrikmäßigen Darstellung muß wegen der äußerst leichten Entzündlichkeit der sehr flüchtigen Dämpfe große Vorsicht angewendet werden; der Destillirapparat und die Vorrichtung zum Verdichten der Destillationsproducte müssen daher in getrennten Räumen aufgestellt werden. Sobald die Operation vollendet, läßt man die Retorte vollständig erkalten und vermeidet sorgfältig mit einem brennenden Lichte an den Ort zu gehen, wo diese Oeldämpfe sich befinden.

Darauf beschäftigten sich Chevallier, Trommsdorff, Gregory, Dalton und Andere mit dem Studium der Destillationsproducte des Kautschuks, ohne aber die Frage ins Reine zu bringen. Sie erhielten zwar verschiedene Oele von verschiedener Flüchtigkeit, die jedoch immer noch mehr oder weniger Gemenge verschiedener Substanzen waren. Näheren Aufschluß darüber erhielten wir durch Himly*) und Bouchardat**), deren Resultate jedoch nicht ganz mit einander übereinstimmen. Bouchardat leitete die Destillationsproducte durch drei Flaschen, die durch Kältemischungen abgekühlt wurden. Aus einem Pfund Kautschuk erhielt er in der ersten Flasche 14 Unzen und in den beiden anderen eine Unze der Destillationsproducte.

Die erste wissenschaftliche Nachricht über das Kautschuk und seine Gewinnung kam durch La Condamine 1726 nach Europa; 1751 gab Fresneau genauere Kunde über den Baum und seine Verbreitung, die Aublet du Petit-Thouars weiter vervollständigte. Zwar kam das Kautschuk bald in den Handel und in den Gebrauch, aber für Jahrzehnte diente es einzig zum Auslöschen von Bleistiftstrichen, während seine Verarbeitung jetzt Tausenden reichlichen Lohn gewährt. Mit der Zeit lernte man aus den vortrefflichen Eigenschaften des eingetrockneten Pflanzensaftes weiteren Nutzen zu ziehen. 1790 verwendete man es bereits zur Anfertigung dehnbarer Binden; man hatte auch bereits gelernt es zu erweichen und wasserdichte Gewebe herzustellen. 1791 machte Graffart Röhren aus Kautschuk, indem er frischgeschnittene Stücke schraubenartig um einen Dorn wickelte; 1820 zog Stadler das Kautschuk zu feinen Fäden aus, die übersponnen zur Anfertigung elastischer Gewebe verarbeitet wurden. Bald darauf brachte Macintosh die nach ihm benannten wasserdichten Zeuge auf den Markt, die zwar in kurzer Zeit die Runde durch die ganze civilisirte Welt machten, eben so

*) De Cautschuk ejusque destillationis siccae productis et ex his de Cautschino, novo corpore ex hydrogenio et carbonco composito. Göttingen 1835. — Liebig's Annalen. Bd. XXVII. S. 40.

**) Liebig's Ann. Bd. XXVII. S. 30.

schnell aber auch wieder in Ungunst geriethen, da die daraus gefertigten, enganliegenden Kleider sich nicht als praktisch bewährten. Eben so wie diese Stoffe das Durchdringen des Regens abhielten, hinderten sie auch den Durchgang der Körperausdünstungen, so daß man beim Gehen völlig durchnäßt wurde, wenn freilich auch nicht vom Regen.

Schon jetzt machte das Kautschuk einen wichtigen Factor der englischen Fabrikthätigkeit aus. So wurden z. B. 1829 fast 100,000 Pfund eingeführt, 1830 nur über 52,000 Pfd., 1833 aber 178,000 Pfd. In den letzten zehn Jahren, seitdem 1843 der englische Fabrikant Hancock das merkwürdige Verhalten des Kautschuks gegen Schwefel entdeckte, hat die Verarbeitung dieses Pflanzensaftes einen ungeahnten Aufschwung erhalten. Sind seitdem auch die Einfuhren bedeutend gestiegen, so dürfen wir doch einen Mangel dieses vortrefflichen Materials nicht befürchten. Nach den sorgfältigen Untersuchungen, welche die ostindische Compagnie nach der Besitznahme von Assam hat anstellen lassen, würde dieses Land allein ausreichen, allen Handelsbedürfnissen zu genügen. In dem Walde von Tarai fand man auf einer Länge von 30 Meilen und einer Breite von 8 Meilen allein über 42,000 Kautschukbäume (Ficus elastica, von den Einwohnern Borgach genannt). Nach 2 bis 3 Tagen hört zwar das Ausfließen des Saftes auf, weil eine Schicht von Kautschuk die Wunde bedeckt, aber nach 18 bis 20 Tagen kann man die Operation wiederholen. Die Einwohner schätzen die Menge des Saftes, welche ein einzelner Baum liefert, bis zu 400 Pfd. Rechnen wir mit Griffith den Ertrag eines jedes Einschnittes auf 40 Pfd. und den Gehalt an Kautschuk mit Roxburgh darin zu 31 Proc., so liefern 20,000 Bäume mit je 4 Einschnitten bei einer 2maligen Operation nicht weniger denn 18,000 Ctr. Kautschuk. Nach Brockedon verbreitet sich die Ficus elastica in Assam über einen Raum von mehr als 10,000 englische Quadratmeilen, eben so häufig ist die Urceola elastica auf den Inseln des indischen Archipels. Der letztere Baum wächst so rasch, daß er in 5 Jahren eine Höhe von 200 Fuß und im Stamme eine Dicke von 20 bis 30 Zoll erreicht. Ohne Schaden für das Gedeihen vermag er in einem Jahre 50 bis 60 Pfd. Kautschuk zu liefern. Edwards berichtet, daß er einen Eingebornen antraf, der aus 120 Bäumen 2 Gallons Milchsaft sammelte; dies konnte Monate lang wiederholt werden, während die genannte Menge hinreichte, um zehn Paar Schuhe daraus anzufertigen.

Der Verarbeitung des Kautschuks geht gemeinhin eine Operation voraus, deren Zweck ist, das Material zu reinigen und zu größeren Blöcken, in der Regel von 1 Quadratfuß Querschnitt und 8 bis 10 Fuß Länge, zu vereinigen. Zu dem Ende wird das käufliche Material zuerst zerkleinert und mit warmem Wasser (27° C.) sorgfältig gewaschen. Das bei 33° wieder getrocknete Kautschuk bringt man dann in Mengen von 30 Pfund in den Wolf, wo es zu einer Masse zusammengeknetet wird. Die Maschine, in der diese Operation vorgenommen wird, besteht aus einem horizontal liegenden eisernen Cylinder, der mit zollang hervorstehenden Zähnen besetzt und mit einem Mantel umgeben ist. Der Zwischenraum zwischen beiden beträgt nur $2^1/_2$ Zoll und in diesem befindet sich das Kautschuk. Durch eine Dampfmaschine von 5 Pferdekraft wird der innere Cylinder in Rotation versetzt, so daß in einer Minute 60 bis 100 Umdrehungen ausgeführt werden. Das Kautschuk, welches fest an dem Cylinder anhaftet, wird einmal umgedreht, während der Cylinder selbst 30 bis 40 Mal umläuft, wobei er das Kautschuk

zerreißt, erwärmt und zusammenknetet. Nach 10 Minuten ist die Arbeit vollendet. Nimmt man die Masse heraus, so besitzt sie eine Dicke von $7^1/_2$ Zoll und eine Länge von über 15 Zoll, während der Abstand zwischen Cylinder und Mantel nur $2^1/_2$ Zoll und die Länge des Cylinders nur 13 Zoll beträgt. Erwärmt man den Cylinder durch Dampf auf 40 bis 45° C., so wird dadurch die Operation bedeutend erleichtert.

Größere Blöcke stellt man dadurch her, daß man eine gewisse Anzahl (3 oder 4) der kleineren Ballen bis auf 50° erwärmt und dann 6 bis 8 Tage unter einer hydraulischen Presse einem starken Druck aussetzt. Die hier erhaltenen Tafeln werden auf gleiche Weise wieder zu mehreren mit einander vereinigt und dann vor dem weiteren Verarbeiten möglichst lange aufbewahrt. Diese großen Blöcke zerschneidet man auf folgende Weise in Blätter. Man heftet den Block mit Kautschukteig auf einen in horizontaler Richtung verschiebbaren Schlitten einer Schneidmaschine. Ein Gegengewicht treibt den Schlitten vorwärts gegen ein sehr scharfes horizontales Messer, das 8 bis 900 Mal in der Minute hin und hergeht. Um das Erhitzen und Ankleben des Kautschuks zu verhindern, läßt man fortdauernd einen feinen Strahl von kaltem Wasser auf die Klinge laufen. Mittelst Schrauben wird der Schlitten so gestellt, daß die Platten stets die gewünschte Dicke erhalten. Erwärmt man die einzelnen Blätter auf 40° und macht man an den Enden frische Schnittflächen, so kann man sie beliebig zusammenkitten.

Solche Platten werden auf einer besonderen Schneidemaschine durch zwei kreisförmige Klingen leicht zu Fäden und Bändern von beliebiger Stärke spiralförmig zerschnitten. Um das Weben der Fäden zu erleichtern, macht man sie durch Ausspannen und Erkalten unelastisch. Erwärmt man diese fertigen Gewebe auf 45°, so erlangt das Kautschuk seine frühere Elasticität wieder. Das Kautschuk kann auch förmlich wie Metalldraht mittelst eines Zieheisens zu sehr schönen und gleichmäßigen Fäden ausgezogen werden, wenn man das Material in Schwefelkohlenstoff aufquellen läßt, dem 5 Proc. Alkohol von 85 Proc. zugesetzt worden sind. Trotz des Aufquellens erhält die Masse doch wegen des Wassergehaltes im Lösungsmittel mehr Zusammenhang. Feinere Fäden stellt man dadurch dar, daß man dieselbe auf das Sechsfache auszieht und auf 100° erwärmt; das Kautschuk hat nämlich die merkwürdige Eigenschaft dann die Länge beizubehalten, die ihm durch die Ausspannung gegeben wurde. Nach dem Erkalten kann man dasselbe Verfahren mit gleichem Erfolge beliebig wiederholen, bis die gewünschte Feinheit erreicht ist. Nach einer sechsmaligen Wiederholung beträgt z. B. die Länge, wenn wir die ursprüngliche = 1 setzen, schon 16625.

Mittelst heißer Walzen, die nach und nach enger gestellt werden, kann man Blätter von beliebiger Feinheit erhalten. Um das Zusammenkleben zu verhindern, läßt man sie von den Walzen in kaltes Wasser gehen oder man bestreut sie mit Talkpulver. Preßt man die vorher mit recht zäher Kautschuklösung bestrichenen Ränder solcher Platten heiß zusammen, so erhält man Gefäße, Säcke, Luftkissen ꝛc., wobei das Aneinanderheften der übrigen Fläche auf angedeutete Weise verhindert wird. Dadurch, daß man diese äußerst dünnen Blätter auf Gewebe legt und beide wieder durch das Walzwerk gehen läßt, erhält man sehr dauerhafte wasserdichte Zeuge. Die weniger werthvollen Stoffe dieser Art stellt man auf ähnliche Weise mit Lösungen des Kautschuks in Steinkohlentheeröl oder Schwefelkohlenstoff dar.

Sollen aus dem Kautschuk Bälle oder Kugeln angefertigt werden, so wird das Material, so wie es den Wolf verläßt, auf einer Reibe, die 5 bis 600 Umdrehungen in der Minute macht, in kleine Stücken zerrissen. Diese werden durch die Operation beträchtlich erwärmt und lassen sich daher sehr gut zu einer festen Masse vereinigen, wenn man sie in eine Form einpreßt und dann längere Zeit einem starken Druck aussetzt, der dadurch erreicht wird, daß man die beiden hohlen Hälften der Form mit Schrauben fest anzieht. Man wendet hierbei auch Kälte an; die dadurch hervorgebrachte Härte der Masse wird durch warmes Wasser wieder aufgehoben. Oft überstreicht man solche Kugeln mit einer Auflösung von Kautschuk und rollt sie in die Scheerwolle, die sich als Ueberzug darauf anlegt.

Eine wichtige Rolle spielt die Auflösung des Kautschuks, deren man sich auf die verschiedenartigste Weise bedient; als z. B. zu Ueberzügen bei vielen Substanzen, theils um sie wasserdicht zu machen oder vor der Einwirkung des Wassers oder der Luft zu schützen (Gewebe allerlei Art, Leder, Schuhe, Stiefeln, Schläuche von Hanf oder Leder, Thauwerk der Schiffe, Mauern ꝛc.), ferner als Leim in der Kunsttischlerei, bei der Anfertigung musikalischer Instrumente ꝛc., als Firniß. Man kann eigentlich nicht sagen, daß das Kautschuk durch die bereits angeführten Mittel wirklich aufgelöst werde. Die verschiedenen Flüssigkeiten dringen nur sehr schnell in die Poren der festen Masse ein und schwellen diese sehr auf, daß sie zwar gelöst erscheint, in Wahrheit aber ist die vermeintliche Lösung nur das Resultat einer Zwischenlagerung des aufgelösten Theiles in dem stark aufgequollenen, der die ursprüngliche Form vergrößert beibehalten hat und dann leicht zu trennen ist, wenn man das Lösungsmittel in hinreichender Menge angewendet hat.

Die leicht löslichen Theile variiren zwischen 0,3 und 0,7 je nach der Beschaffenheit des Kautschuks und der Natur des Lösungsmittels, aber die Eigenschaften der beiden Theile bleiben verschieden nach ihrer Trennung und Verdampfung der Flüssigkeit. Die ungelöste Substanz ist weniger anhaftend, aber zäher und hält zumeist den färbenden Stoff zurück; die lösliche Substanz dagegen, besonders die zuerst gelöste, ist viel anhaftender, weicher, weniger elastisch, zähe und gefärbt. Beim Terpentinöl genügen Spuren von darin enthaltenem Harz, um die beiden Producte anhaftend zu machen und das, was gelöst worden ist, lange Zeit klebrig zu lassen. Das Klebrigbleiben soll man nach Du Menil *) dadurch leicht fortschaffen können, daß man den Stoff, der mit Kautschuklösung getränkt worden ist, in kochenden Alkohol taucht, der das Harz, die Ursache der andauernden Schmierigkeit, entfernt. Nach Lüdersdorff vermehrt ein geringer Zusatz von Schwefel oder Schwefelkalium die Auflösungsfähigkeit des Terpentinöls bedeutend. Aus der Lösung in Terpentinöl stellt man durch Verdampfen des Lösungsmittels weiche Ueberzüge und gleichförmige Platten dar.

Wendet man einen großen Ueberschuß des Lösungsmittels an, so ist die Volumenvergrößerung des ungelösten Theiles sehr beträchtlich. Bei Benzin, wasserfreiem Aether, Terpentinöl und einer Mischung von 100 Schwefelkohlenstoff und 4 gewässertem Aether beträgt die Ausdehnung das 27fache des ursprünglichen Volumens; bei kaltem rectificirten Steinöl das 30fache. Der Theil, welcher am meisten den Auflösungsmitteln widersteht, stellt nach Payen **) unterm

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XI. S. 127.
**) Compt. rend. T. XXXIV. p. 2.

Mikroskop bei einer 300fachen Vergrößerung ein netzartiges Gewebe dar, dessen verschlungene Fäden sich ausdehnen und aufschwellen bei der Absorption der Flüssigkeit und sich zusammenziehen in dem Maße, als die Verdampfung vor sich geht. Auch die Auflösungen nehmen diese merkwürdige Textur an, die beim Anwässern des Rückstandes deutlicher hervortritt.

Als das beste Lösungsmittel giebt Payen ein Gemisch von 6 bis 8 Th. wasserfreiem Alkohol und 100 Th. Schwefelkohlenstoff an. Setzt man das angegebene Verhältniß des Alkohols zu einer dicken, gallertartigen, undurchsichtigen Lösung von Kautschuk in Schwefelkohlenstoff, so beobachtet man eine Schmelzung und ein rasches Klären. Diese Veränderungen hängen von der Auflösung des fetten Stoffes durch Alkohol und von der größeren Vertheilung aller Theile ab. Wird dieser klebrigen Flüssigkeit das zweifache Volumen wasserfreien Alkohols zugesetzt, so schlägt sich aller Kautschuk nieder. Der dicke und zähe Niederschlag löst sich leicht wieder in Schwefelkohlenstoff und wiederholt man dasselbe Verfahren mehrmals, so bewirkt man eine vollständigere Reinigung und durchsichtigere Lösung.

Weicht man die Flaschen, wie sie im Handel vorkommen, in Aether, Stein- oder Rosmarinöl ein, so kann man sie beträchtlich aufblasen. Mitchell erweiterte eine solche, die $3^1/_2$ Quentchen wog und so groß war wie eine Wallnuß, bis zu einem Durchmesser von 15 Zoll; er fertigte selbst Blasen bis zu 6 Fuß Durchmesser, deren eine mit Wasserstoffgas gefüllt, 130 engl. Meilen weit flog. Sehr leicht soll man diese Erweiterungen erzielen, wenn man die mit einem Hahn versehenen Flaschen in kochendem Wasser erweicht und dann auflöst.

Löst man geringe Mengen von Kautschuk in fetten Oelen (Rüböl), so erhält man eine sehr gute Maschinenschmiere, die sich besonders dadurch auszeichnet, daß sie fast bei allen Temperaturen flüssig bleibt und sich nicht so leicht als reines Oel aus den Lagern wegdrängt.

Schon oben haben wir angeführt, daß das Kautschuk ein merkwürdiges Verhalten gegen Schwefel zeigt; beide geben nämlich eine Verbindung ein und durch diese Aufnahme von Schwefel erlangt das Kautschuk die vortreffliche Eigenschaft, so zu sagen unempfindlich gegen die Einflüsse der Temperatur zu werden; d. h. es bewahrt seine Geschmeidigkeit und Elasticität selbst unter 0° und durch eine Wärme von 35 bis 40° C. wird es nicht weich und klebend, ja es bleibt sogar bei 100° unverändert; eben so wird es auch durch die Lösungsmittel weit weniger oder auch gar nicht angegriffen. Das geschwefelte Kautschuk führt den Namen „vulkanisirtes Kautschuk.“ Aus den angeführten Gründen hat die Anwendung dieses Stoffes eine so außerordentliche Wichtigkeit erlangt, daß dadurch mancherlei neue Industriezweige hervorgerufen worden sind.

Wie schon angedeutet, war es ein englischer Fabrikant, der diese wichtige Entdeckung machte. In der ersten Zeit tauchte man Kautschukplatten von 1 bis $4^1/_4$ Linien Dicke in geschmolzenen Schwefel und ließ sie 2 bis 3 Stunden bei einer Temperatur von 112 bis 116° darin liegen. Der Schwefel dringt schnell in die Poren des Kautschuks, so daß das Gewicht desselben um 10 bis 15 Proc. zunimmt. Eine bemerkenswerthe Veränderung in den Eigenschaften der organischen Substanz tritt nicht ein; man kann sie formen und auf ihren frischen Schnitten vereinigen wie im normalen Zustande. Nach der Entfernung aus dem Schwefel

erwärmt man die Platten in einem indifferenten Mittel bis auf 135, 150 oder 160° und hierbei iſt die Umwandlung in einigen Minuten beendet. Verlängert man die Einwirkung dieſer hohen Temperatur zu ſehr, ſo wird das Product allmälig weniger geſchmeidig, weniger elaſtiſch und bald hart und zerbrechlich. Daſſelbe tritt auch ein, wenn man die Platten in Schwefel ſelbſt ſo hoch erwärmt; hier ſteigt die Menge des aufgenommenen Schwefels allmälig, ſo daß ſie nach 24 Stunden faſt das gleiche Gewicht der organiſchen Subſtanz beträgt.

Anſtatt den flüſſigen Schwefel eindringen zu laſſen, kann man das Kautſchuk auch mittelſt einer Reibvorrichtung mit 12 oder 20 Proc. fein gepulvertem Schwefel verbinden und dann bis zu dem zur Vulkaniſation nöthigen Grade erwärmen. Man wendet hierbei auch andere Schwefelverbindungen oder Gemenge an, wie z. B. 7 Proc. Schwefelblumen und 5 Proc. Bleiweiß, Schwefelarſen und Schwefel oder Schwefelantimon, die man mit Kautſchuk in dem oben beſchriebenen Wolf zuſammenknetet. Bei Anwendung von Schwefelantimon (Antimonkermes) ſoll ein Brüchigwerden bei zu langer Erwärmung nicht eintreten.

Iſt zu viel Schwefel aufgenommen, ſo verliert das Kautſchuk mit der Zeit ſeine Elaſticität, namentlich wenn dieſe häufig und in hohem Grade in Anſpruch genommen wird und es reißt dann bei ſchwacher Ausdehnung kurz ab. Das Innehalten der richtigen Grenze wird durch die von Parkes angegebene Methode der kalten Vulkaniſation erleichtert. Man taucht hier das Kautſchuk oder die daraus angefertigten Gegenſtände ein oder zwei Minuten lang in eine Miſchung von 1 Th. Schwefelchlorür und 40 Th. Schwefelkohlenſtoff und wäſcht mit lauwarmem Waſſer raſch ab. Gérard hat auch ein anderes Verfahren angegeben, welches im Intereſſe der Geſundheit und der Regelmäßigkeit der Operation, ſo daß eine ungleiche Schwefelung der organiſchen Subſtanz vermieden wird, vorzuziehen iſt. Die zu vulkaniſirenden Stoffe werden in einem verſchloſſenen Gefäße drei Stunden hindurch in eine 25° Beaumé ſtarke und auf 140° erwärmte Löſung von drei- oder fünffach Schwefelkalium eingetaucht und dann mit einer alkaliſchen Löſung und Waſſer abgewaſchen. Man hat hierbei nicht zu fürchten, daß ſich ein Ueberſchuß von Schwefel mit dem Kautſchuk verbindet. Dieſe Methode wäre ſehr zu empfehlen, zumal es ſich zeigt, daß im Handel viel fehlerhaft bereitetes vulkaniſirtes Kautſchuk vorkommt, das die guten Eigenſchaften, die man an dieſem Präparat ſonſt rühmt, keineswegs beſitzt.

Iſt die richtige Grenze nicht überſchritten, ſo werden nach Payen *) von dem Kautſchuk nur 1 bis 2 Proc. Schwefel in inniger Verbindung zurückgehalten. Der Ueberreſt findet ſich einfach in den Poren eingelagert; er wird durch mechaniſche Einwirkung, durch das abwechſelnde Ausdehnen, welches die Poren zuſammenzieht und durch das Zuſammenziehen, welches ſie öffnet, allmälig entfernt. Schneller und vollſtändiger erreicht man dies durch heiße Löſungen von Kali oder Natron, waſſerfreiem Aether, Schwefelkohlenſtoff, Terpentinöl und Benzol. Die drei letzteren Flüſſigkeiten ſchwellen die Maſſe bis zum acht- oder neunfachen Volumen auf und entfernen den Schwefel, ohne ihn an der Oberfläche abzuſetzen, wie dies der Aether thut. Dieſe Entſchwefelung muß alle Mal vorgenommen werden, wenn das vulkaniſirte Kautſchuk bei ſeiner Verwendung mit Metallen in Berührung

*) Compt. rend. T. XXXIV. p. 433.

kommt, auf welche ſonſt der eingelagerte, nicht verbundene Schwefel einwirken würde. Nicht entſchwefeltes Kautſchuk, beſonders wenn es hohen Temperaturen ausgeſetzt iſt, verliert bald ſeine Elaſticität, wird hart und brüchig, weil es ſich mit dem in den Poren enthaltenen Schwefel verbindet.

Läßt man den Aether und Schwefelkohlenſtoff lange Zeit mit dem vulkaniſirten Kautſchuk in Berührung, ſo werden dadurch 4 bis 5 Proc. unveränderter Kautſchuk aufgelöſt — ein Beweis, daß die Schwefelung nicht ganz gleichmäßig bis in die Mitte der Maſſe ſtattfindet. Durch wiederholtes Verdampfen und Wiederaufnehmen in Aether, der den freien Schwefel entfernt und in waſſerfreiem Alkohol, der 1 bis 1,50 Proc. Fett entzieht, kann man dieſes Kautſchuk wieder gewinnen.

Nach der Vulkaniſation beſteht das Kautſchuk nach Payen aus zwei mit verſchiedener Cohäſion und Löslichkeit begabten Theilen, von denen der eine, der weiche und weniger lichte durch ein Gemiſch von 10 Th. Schwefelkohlenſtoff und 1 Th. waſſerfreiem Alkohol ausgezogen werden kann. Das Gewicht deſſelben betrug 25 Proc., das des unlöslichen zähen Theiles 65 Proc. und außerdem waren in dem vulkaniſirten Kautſchuk noch 10 Proc. überſchüſſiger Schwefel enthalten.

Payen hat gewöhnliches, vulkaniſirtes und entſchwefeltes Kautſchuk unter gleichen Umſtänden 2 Monate lang in Waſſer getaucht; das erſtere abſorbirte 0,26, das zweite 0,042 und das dritte 0,064 Waſſer. Ballons von 1 Linie Dicke, mit Waſſer gefüllt und einem Druck unterworfen, der ihren Durchmeſſer verdoppelte, verloren durch beſtändiges Verdunſten in 24 Stunden für den Quadratmeter: gewöhnliches Kautſchuk 23 Grm. und vulkaniſirtes 4 Grm. Aehnliche mit Luft gefüllte Ballons verloren unter dem gleichen Druck in 8 Tagen nichts Bemerkliches.

Neben England hat die Verarbeitung des Kautſchuks in Nordamerika eine große Ausdehnung erreicht. Hier ſchreibt ſich ein gewiſſer Goodyear die Entdeckung des vulkaniſirten Kautſchuks zu, die er ſich hat patentiren laſſen. Seit 1848 hat ſich die Einfuhr des Kautſchuks, das meiſtens aus Para in Braſilien kommt, verdreifacht und den Geſammtwerth aller in den Vereinigten Staaten verfertigten India-Rubber-Waaren ſchätzt man jährlich auf 10 Millionen Dollars. Die meiſten Fabriken dieſer Art findet man in den Staaten Newyork, Newjerſey, Maſſachuſetts, Rhode-Island und Connecticut, die vielen Tauſenden von Menſchen Beſchäftigung gewähren. Einer der wichtigſten Artikel, die aus Kautſchuk gefertigt werden, ſind die Eiſenbahnkarrenfedern, worauf der New-England-Car-Spring-Company ein Monopol ertheilt iſt. Hierzu werden jährlich allein 400,000 Pfd. rohes Material verbraucht. In einigen andern Artikeln iſt der Conſum gleichfalls ungeheuer. So werden z. B. jährlich an 4 Mill. Paar Schuhe aus Kautſchuk angefertigt, von denen die Hayward-Company allein täglich 3000 fabricirt. Daß der Stoff zu Landkarten, Globen ꝛc. verbraucht wird, iſt bekannt und man ſpricht ſchon ernſtlich davon die Banknoten daraus anſtatt aus Papier zu machen; ja man träumt ſogar ſchon von Segeln aus India-Rubber, die den Seemann über das Meer führen werden. Ein wichtiger Zweig iſt noch die Anfertigung der Spielſachen und ſoll die Erzeugung derſelben im Lande bereits nachtheilig auf die Einfuhr der bekannten Nürnberger Fabrikate zurückgewirkt haben. W. B.

Kegel, berganlaufender, ſ. Ebene, ſchiefe.

Kegelſpiegel heißen diejenigen Spiegel, deren ſpiegelnde Fläche der Mantel (krumme Seitenfläche) eines Kegels iſt. Da ein ſolcher Spiegel in der Linie von der Spitze nach der Baſis wie ein ebener, in jeder anderen Richtung wie ein converer Spiegel wirkt, und dieſe convexen Spiegel von der Baſis nach der Spitze zu einen immer kleineren Radius erhalten; ſo wird das Bild, welches in ihm von einem vor demſelben befindlichen Gegenſtande erſcheint, immer ein verzerrtes ſein. Man wird daher nur dann ein richtig geordnetes Bild im Kegelſpiegel ſehen, wenn eine vor demſelben befindliche Zeichnung eine nach gewiſſen Regeln verzerrt gezeichnete iſt. Des Kegelſpiegels bedient man ſich daher zu Anamorphoſen (ſ. d. Art.) eben ſo wie des Cylinderſpiegels (ſ. d. Art.).

Gewöhnlich benutzt man zu den Anamorphoſen für Kegelſpiegel nur den geraden ſpitzen Kegel, in welchem Falle das Zerrbild auf einer mit der Kegelbaſis zuſammenfallenden Ebene liegt, und der Ort für das Auge in der verlängerten Kegelaxe ſich befindet. Allgemein gefaßt würde die Aufgabe die ſein: in einer außerhalb des Kegels liegenden beliebigen Fläche eine Zeichnung ſo zu entwerfen, daß ein über der Baſis des Kegels befindliches Auge in dem Kegel den Gegenſtand, welchen das Zerrbild darſtellen ſoll, in richtigen, natürlichen Verhältniſſen erkenne.

Mit der Einſchränkung, daß ſich das Auge auf der verlängerten Axe eines geraden oder ſchiefen Kegels befinde, und die Zeichnung auf der inneren Fläche eines Cylinders, deſſen Axe mit der des Kegels zuſammenfällt, und der ſelbſt die Baſis des Kegels zur Grundfläche hat, alſo durch die Peripherie geht, oder — wo es möglich iſt — auf einer mit der Baſis des Kegels zuſammenfallenden Ebene liege, habe ich die Aufgabe behandelt *) und nachgewieſen, daß es nur für ſpitze Kegel ein Zerrbild in der Baſisebene giebt, daß bei rechtwinkeligen Kegeln ein Zerrbild in der Ebene der Kegelbaſis unendlich groß werden müßte, daß für ſtumpfwinkelige Kegel zur Erzeugung eines gehörig geordneten Spiegelbildes ein Theil des Zerrbildes oberhalb der Ebene der Kegelbaſis liegen muß.

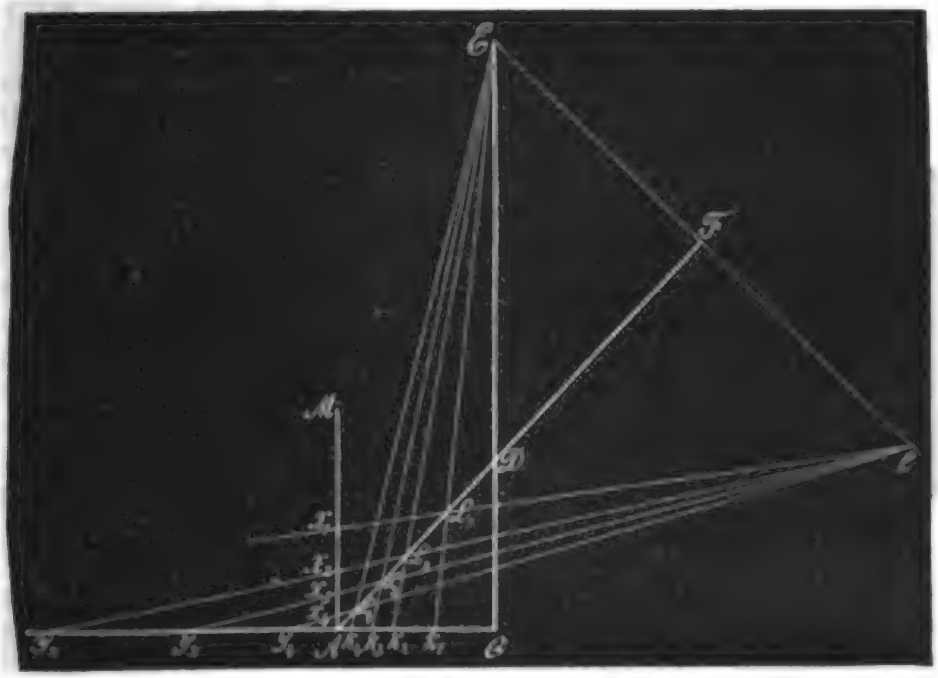
Außerdem ergiebt ſich, daß für die Punkte in der Peripherie der Kegelbaſis die entſprechenden Stellen des Zerrbildes wieder in der Peripherie liegen, daß für die dem Mittelpunkte entſprechenden Stellen der Ort des Auges auf der Axe gleichgültig iſt. Bei ſpitzen Kegeln mit einem Zerrbilde in der Ebene der Baſis liegen die entſprechenden Stellen im Zerrbilde um ſo weiter von der Peripherie des Kegels auf der Baſisebene entfernt, je näher die Punkte des Bildes dem Mittelpunkte der Baſis liegen. Sollen bei ſpitzen Kegeln die dem Mittelpunkte und eben ſo die den in gleichen Entfernungen von dieſem liegenden Punkten entſprechenden Stellen des Zerrbildes auf Kreiſen liegen, welche mit der Peripherie der Baſis concentriſch ſind, ſo muß der Kegel ein gerader ſein.

Soll das Zerrbild auf der Innenfläche eines — wie oben bezeichneten — Cylinders liegen, wie es bei rechtwinkeligen und ſtumpfwinkeligen Kegeln am einfachſten ſich ausführen läßt, ſo ergiebt ſich, daß die entſprechenden Stellen im Zerrbilde um ſo höher auf dem Cylinder ſich befinden, je näher die Punkte des

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXV. S. 99.

Bildes dem Mittelpunkte der Baſis liegen; daß bei rechtwinkeligen Kegeln — gleichgültig, ob dieſelben gerade oder ſchiefe ſind — es für alle dem Mittelpunkte des Bildes entſprechenden Stellen des Zerrbildes einen mit der Baſis parallelen Kreis giebt, der auf der Cylinderfläche von der Baſis (in der Richtung der Axe) um die Länge der Axe entfernt iſt, deſſen Mittelpunkt alſo in der Spitze des Kegels liegt; daß bei ſtumpfwinkeligen Kegeln der Cylinder um ſo länger ſein muß, je ſtumpfer dieſelben ſind; daß bei ſpitzen Kegeln, wenn man für dieſe Cylinderbilder conſtruiren will, der Cylinder um ſo kürzer ſein kann, je ſpitzer die Kegel ſind.

Um von der Conſtruction der Zerrbilder für Kegelſpiegel eine Idee zu geben, legen wir einen geraden Kegel zu Grunde, deſſen durch die Spitze gehender halber Durchſchnitt durch A C D dargeſtellt werde, ſo daß C D die Axe vorſtellt.



Auf der verlängerten Axe in E ſei der Ort des Auges; von dieſem fälle man auf die Kegelſeite A D ein Perpendikel E F, verlängere dies um ſich ſelbſt, mache alſo e F = E F; ziehe nach beliebigen Punkten k_1, k_2, k_3 .... auf dem Radius A C von E aus die Strecken E k_1, E k_2, E k_3 ...., welche A D in L_1, L_2, L_3 ... ſchneiden; dieſe Punkte verbinde man mit e und verlängere dieſe Strecken, bis ſie A M, welches durch A parallel mit der Axe C D geht, treffen, oder die verlängerte Baſis A C. Die Entfernungen A x_1, A x_2, A x_3 ... geben die entſprechenden Stellen für das Zerrbild auf einem Cylinder, die Entfernungen A y_2, A y_3 ... dieſelben für das Zerrbild auf der Baſisebene. — Es iſt dieſe Conſtruction jedenfalls bequemer auszuführen, als wenn man nach dem katoptriſchen Grundgeſetze ∠ A L X = E L F mit dem Transporteure macht.

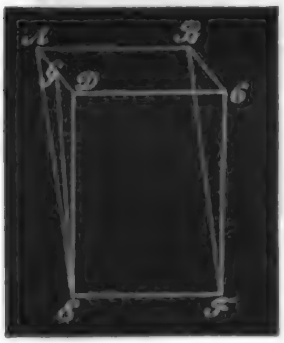
Die Punkte k_1, k_2, k_3 ... wählt man am bequemſten in gleichen Abſtänden; beſchreibt man nun mit den Halbmeſſern C k_1, C k_2 ... C A concentriſche Kreiſe und

aus demſelben Centrum eben ſo mit Cy_1, Cy_2 ..., bringt die Zeichnung, für welche ein Zerrbild entworfen werden ſoll, in der Fläche an, welche von dem mit AC beſchriebenen Kreiſe eingeſchloſſen iſt, und zieht durch die hervorſtechenden Punkte der Zeichnung von dem Mittelpunkte aus Linien, ſo geben die auf den entſprechenden Kreiſen y_1, y_2 ... die Stellen des Zerrbildes. Je mehr ſolcher Punkte man beſtimmt, deſto leichter iſt es alsdann die zwiſchenliegenden Stellen auszufüllen.

Für ein Cylinderbild trägt man auf einem rechteckigen Papierſtreifen, welcher dem Cylindermantel entſpricht, die Entfernungen AX auf der Höhe ab und zieht in dieſen parallele Linien mit der Grundſeite, auf denen ſich dann leicht die entſprechenden Punkte des Zerrbildes ermitteln laſſen. Für cylindriſche Kegelzerrbilder iſt am bequemſten eine cylindriſche Büchſe, in welche der Kegel mit ſeiner Baſis eben einpaßt, indem man dann nur die Bilder auf der Innenſeite der Büchſe aufzuſtellen nöthig hat.

In Betreff des Geſchichtlichen der Anamorphoſen iſt nachzuſehen: **Wilde**, Geſchichte der Optik, Berlin 1838. Bd. I. S. 296 — 304. **H. E.**

Keil heißt ein einfaches mechaniſches Inſtrument, welches aus einem dreiſeitigen Prisma beſteht, wie ſolches nebenſtehende Figur ABCDEF vorſtellt. Man nennt ABCD den Rücken, die gegenüberliegende Kante EF die Schneide, die den Winkel an der Schneide halbirende, bis zu dem Rücken gehende Linie, alſo EG, die Länge, die den Rücken und die Schneide verbindenden Kanten, z. B. DE, die Seitenlängen, während die den Rücken und die Schneide verbindenden Rechtecke ſelbſt, z. B. CDEF, Seiten genannt werden. Man unterſcheidet den einfachen und den doppelten Keil. Bei jenem iſt der von der Schneide zum Rücken gehende Schnitt, durch welchen der Schneidenwinkel beſtimmt wird, ein rechtwinkeliges, bei dieſem ein gleichſchenkeliges Dreieck.



Des einfachen Keiles bedient man ſich, um Laſten von einer unbeweglichen Fläche auf eine geringe Höhe zu heben, z. B. beim Feſtſtellen von Möbeln, indem man einen Keil unter einen Fuß treibt; eben ſo iſt die Treiblade der Zimmerleute, mit der ſie ausgewichene Wände wieder gerade treiben, oder Balken ein wenig in die Höhe heben, nichts Anderes als ein einfacher Keil; auch zur Arretirung der Magnetnadeln wendet man häufig einen einfachen Keil an; zum Losttrennen kleinerer Holzſtücke von größeren Klötzen; zum Aneinandertreiben der zu legenden Dielen bei Fußböden und dergleichen mehr.

Der einfache Keil wirkt ganz wie eine ſchiefe Ebene, indem eine Laſt auf der Länge derſelben, der in der Hypotenuſe des rechtwinkeligen Dreiecks liegenden Seite, aufwärts bewegt werden ſoll, während die Kraft parallel der Baſis der Ebene, der anderen Keilſeite, wirkſam iſt. Es verhält ſich alſo *) die Kraft zur Laſt, wie die Höhe des Keils zur Länge, oder die Kraft iſt gleich dem Producte aus der Laſt und der Tangente des Schneidewinkels. Wohl zu beachten iſt indeſſen, daß beim Keile die Kraft in der Regel ſtoßend wirkt, was bei anderen Maſchinen nicht der Fall iſt.

*) Vergl. Art. Ebene. Bd. II. S. 586.

Der doppelte Keil wird gewöhnlich zur Trennung zweier Flächen angewendet, welche auf die Seiten deſſelben einen Druck ausüben, während die Kraft ſenkrecht auf den Rücken wirkt, z. B. zum Spalten des Holzes.

Ueber das Verhältniß der Kraft zur Laſt, durch welches das Gleichgewicht an dem doppelten Keile bedingt wird, ſind von verſchiedenen Phyſikern ſehr abweichende Angaben gemacht worden *). Iſt ABC (Fig. I.) der Durchſchnitt eines Keiles, BD die Länge deſſelben, ſo iſt dies Verhältniß nach

I.

Merſenne AD : BD, nach Descartes und Anderen AC : BD, nach Borelli AD : AB, nach Bruchauſen AC : 2 BD, nach Brandes AC : AB, nach Muncke 2 tgs ½ B : BD. Dieſe Verſchiedenheit rührt größtentheils her von den verſchiedenen Anſichten über die Richtung des Druckes, welcher auf die Seiten ausgeübt wird, und daß ein jedes Verhältniß als das richtige geltend zu machen geſucht worden iſt, läßt ſich wohl nur daraus erklären, daß es nicht möglich iſt wegen der Reibung und anderer Hinderniſſe auf experimentellem Wege die aufgeſtellten Verhältniſſe zu prüfen.

Nehmen wir an, daß die auf die Seiten wirkende Laſt ſenkrecht zu der Länge gerichtet iſt, ſo ergiebt ſich, indem der doppelte Keil ſich als eine Verbindung zweier einfacher anſehen läßt, wie Merſenne angiebt:

$$K : L = AD : BD,$$

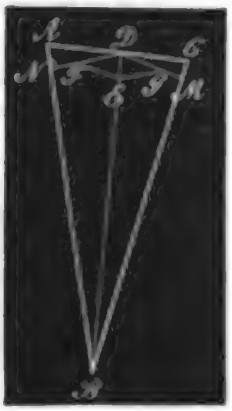
indem die halbe Kraft der auf die eine Seite wirkenden Laſt, welche der auf die andere Seite wirkenden gleich, alſo ſelbſt die halbe Laſt iſt, das Gleichgewicht hält, wenn AD : BD iſt; iſt aber $\frac{1}{2} K : \frac{1}{2} L = AD : BD$, ſo iſt auch

$$K : L = AD : BD.$$

d. h. die Kraft verhält ſich zur Laſt, wie der halbe Rücken zur Länge.

Nehmen wir an, daß die Laſt ſenkrecht zur Seite wirkt,

II.



ſo erhalten wir wie Borelli:

$$K : L = AD : AB$$

d. h. die Kraft verhält ſich zur Laſt, wie der halbe Rücken zur Seitenlänge.

Iſt nämlich DE (Fig. II.) die auf den Rücken wirkende Kraft, ſo daß DE die Richtung und Stärke derſelben angiebt; ſo zerlege man dieſelbe nach dem Parallelogramme der Kräfte in die auf den Seiten ſenkrecht ſtehenden DG und DF, indem DM und DN reſpective auf BC und AB ſenkrecht ſtehen und DGEF ein Parallelogramm bildet. Dann ſtellt DG die auf BC und DF die auf AB wirkende Laſt vor. Dieſe beiden Laſten ſind gleich, wie ſich von ſelbſt verſteht und wie auch daraus folgt, daß

*) Ueber die früheſten Beſtimmungen: G. F. Bärmann's Dissertat de Cuneo. Viteb. 1751; vergl. Anfangsgründe der Mechanik von A. G. Käſtner. Götting 1780 Anm. § 105. S. 63.

DGEF ein Rhombus iſt, da $\sphericalangle$ NDM durch BD halbirt wird; alſo iſt DG = DF = $\frac{1}{2}$ L. Da nun $\sphericalangle$ FDE = $\sphericalangle$ DEF = $\sphericalangle$ BAC iſt, ſo muß $\triangle$ DEF ähnlich $\triangle$ ABC ſein, und mithin erhalten wir:

$$DE : DF = AC : AB, \text{ d. h.}$$
$$K : \tfrac{1}{2} L = AC : AB, \text{ folglich iſt auch:}$$
$$\tfrac{1}{2} K : \tfrac{1}{2} L = \tfrac{1}{2} AC : AB, \text{ oder}$$
$$K : L = \tfrac{1}{2} AC : AB$$
$$= AD : AB.$$

Machen wir endlich die Annahme, daß der Keil in einen zu ſpaltenden Körper eingetrieben wird, ſo daß dadurch ein Spalt von einem Winkel = 2 β entſteht, und die Laſt in der Richtung der Tangente eines Kreiſes auf die Seiten wirkt, deſſen Mittelpunkt die Spitze des Spaltes iſt, ſo erhalten wir, falls der Winkel an der Schneide des Keils 2 α beträgt:

$$K : L = \sin(\alpha - \beta) : \cos \alpha$$

oder die Kraft verhält ſich zur Laſt wie das Product aus dem halben Rücken und der Entfernung der Schneide des Keiles von dem Mittelpunkte des Spaltes zu dem Producte aus der Länge des Keiles und der Seitenlänge des Spaltes.

Es ſei in beiſtehender Figur der Keil ABC in ein Holz eingetrieben, deſſen eine Hälfte ONP vorſtellt, der Spalt erſtrecke ſich bis E und $\sphericalangle$ NEM ſei = 2 β, alſo $\sphericalangle$ DEM = β. Die Kräfte (Laſten), mit welchen die beiden Spaltſeiten ME und NE ſich zu vereinigen ſuchen, alſo auf M und N drücken, ſind einander gleich, ſo daß wir unſere Betrachtung nur an die eine, z. B. bei M anknüpfen können. Nun wirkt offenbar die Laſt bei M in der Richtung der Tangente des Kreiſes, deſſen Mittelpunkt in E liegt und deſſen Halbmeſſer EM iſt. Wenn alſo $\sphericalangle$ FME = 90° iſt, ſo kann FM die Stärke und Richtung dieſer Laſt vorſtellen. Da nun dieſer Laſt durch eine Kraft das Gleichgewicht gehalten werden ſoll, welche ſenkrecht auf den Rücken, alſo in der Richtung DB wirkt, ſo zerlegen wir MF in zwei Kräfte, von denen die eine HM parallel DB läuft, die andere MG auf der Seite CB ſenkrecht ſteht. Die in der Richtung DB wirkende Kraft muß mithin, wenn ſie MF das Gleichgewicht halten ſoll, der Seitenkraft MH gleich ſein. Der Winkel FMG oder MFH iſt nun = $\alpha - \beta$ und der Winkel MHF = 90° — α, alſo erhalten wir HM : MF = sin MFH : sin MHF d. h. $\frac{1}{2}$ K : $\frac{1}{2}$ L = sin ($\alpha - \beta$) : cos α, mithin auch: K : L = sin ($\alpha - \beta$) : cos α.

Daß dies ſo eben entwickelte Verhältniß, bei welchem allerdings von aller Reibung abgeſehen werden mußte, wohl das wahre ſein wird, dafür ſprechen die Reſultate, welche in einigen ſpeciellen Fällen ſich ergeben. Nehmen wir an, daß ein Keil in ver-

Digitized by Google

faules Holz getrieben werde, so zeigt die Erfahrung, daß gar keine Spalte über die Schneide hinaus entsteht, d. h. α wird $= \beta$, mithin $\sin(\alpha - \beta) = 0$, und also auch $K = 0$. Hiermit stimmt überein, daß man den Keil so leicht in solches Holz eintreiben kann. — Machen wir anderenfalls die Annahme, daß $\beta = 0$ wird, d. h. daß ME und DE parallel laufen, also die beiden Theile NE und ME, welche aus einander getrieben werden sollen, gar nicht zusammenhalten, wie bei dem Gebrauche des einfachen Keiles, so erhalten wir:

$$K : L = \sin\alpha : \cos\alpha, \text{ d. h.}$$
$$K : L = CD : BD = AD : BD,$$

ein Verhältniß, welches wir oben ebenfalls erhalten haben unter der Annahme, daß die Last senkrecht zur Länge gerichtet ist. Nur in diesem Falle stimmt der Keil in seiner Wirkungsweise mit der schiefen Ebene überein.

Da, wegen $CD : BD = \sin\alpha : \cos\alpha$, $\cos\alpha = \frac{BD \cdot \sin\alpha}{CD}$ ist, und $\sin(\alpha - \beta) = \frac{BE \cdot \sin\alpha}{ME}$, weil $BE : ME = \sin(\alpha - \beta) : \sin\alpha$ ist, so erhalten wir auch:

$$K : L = \frac{BE}{ME} : \frac{BD}{CD} = BE \cdot CD : BD \cdot ME,$$

ein Verhältniß, welches in Worten den oben gegebenen Ausdruck erhält.

Es ergiebt sich aus den verschiedenen gefundenen Verhältnissen, daß die zum Eintreiben des Keiles erforderliche Kraft um so geringer ist, je schmäler der Rücken und je größer die Länge desselben ist; aber, wie überhaupt in der Mechanik, der mechanische Vortheil ist auch hier gleich dem mechanischen Nachtheile, nämlich je mehr der Keil die eben aufgestellten Bedingungen erfüllt, auf desto kleinere Entfernung werden auch die auseinander zu treibenden Theile aus einander getrieben *).

Bei der gewöhnlichen Anwendung des Keiles wird derselbe selten Gegenstand der Berechnung. Er wird beim Eintreiben durch die Reibung an seinen Seiten festgehalten und zwar mit bedeutender Stärke, wie man aus dem Umstande sieht, daß er — seine Seiten müßten denn sehr glatt sein — nicht zurückgeht, auch wenn die Kraft auf ihn zu wirken aufgehört hat, und daß sogar eine bedeutende Kraft erforderlich ist, ihn zurückzuziehen. Die Reibung läßt sich nur unvollkommen in Rechnung bringen. Am Einfachsten ist es, die Größe der Reibung dem auf die Seitenflächen ausgeübten Drucke gleich zu setzen, wiewohl auch dies in den meisten Fällen zu gering sein möchte. Hierzu kommt oft noch ein anderes Hinderniß, nämlich der Widerstand, welchen der zu durchdringende Gegenstand der Schneide entgegensetzt. Ohne Reibung würde der Keil in den meisten Fällen seine ganze Brauchbarkeit verlieren, weil er zurückspringen würde. Der einzige Fall, in welchem die Theorie des Keiles zur Anwendung kommt, möchte wohl die Construction gewölbter Bogen sein; denn bei der Keilpresse, wo man allerdings auch die Verhältnisse aus der Theorie abzuleiten versuchen kann und auch

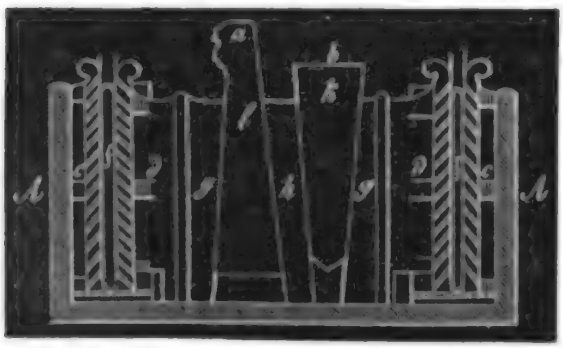
*) Vergl. Emsmann, Physikalische Aufgaben. Leipzig 1852. S. 27.

verſucht hat, hält man ſich doch mehr an die praktiſchen, als theoretiſchen Ergebniſſe.

Es bedarf wohl kaum der Bemerkung, daß alle ſcharfen und ſpitzen Schneide- und Stechinſtrumente als Keile wirken; es ſei nur erinnert an die Meſſer, Beile, Aexte, Meiſel, Spaten, Nägel, Nadeln ꝛc. H. E.

Keilpreſſe iſt eine Preſſe, bei welcher der Keil als der weſentlichſte Beſtandtheil auftritt. Sie iſt ſehr wirkſam, weil die Kraft bei derſelben nicht, wie ſonſt der Fall iſt, durch Druck, ſondern durch Stoß ihre Wirkung ausübt. Es giebt verſchiedene Arten der Keilpreſſen; wir finden z. B. eine ſolche im Gebrauche bei den Kammmachern zum Formen und Biegen des Hornes und Schildpattes. Das Princip, nach welchem dergleichen Preſſen conſtruirt werden, anſchaulich zu machen, wählen wir die Oelpreſſe, wie ſie in den gewöhnlichen Oelmühlen zur Anwendung kommt.

In einen oben offenen gußeiſernen, parallelepipediſchen Kaſten A, A in beiſtehender Figur werden gegen die ſchmalen Wände hin zwiſchen durchlöcherte gußeiſerne Platten c und d (Preßplatten) die mit erwärmtem Oelſamenmehl gefüllten, gewöhnlich aus Roßhaaren gefertigten Säcke oder Haartücher f, f gebracht. Die Platten c, c ſtemmen ſich mit 3 angegoſſenen Querrippen gegen die Wände des Kaſtens ſo, daß zwiſchen ihnen und den Wänden das ausgepreßte Oel noch herablaufen kann; eben ſo geſtatten die Preßplatten d d (Jager) das Herablaufen des Oeles, welches dann durch eine durchlöcherte gußeiſerne Bodenplatte und ein in dem darunter befindlichen Raume angebrachtes Abflußrohr ausfließt. Neben jeder der beweglichen Preßplatten d, d befindet ſich ein Zwiſchenfutter g, g und zwiſchen den beiden Keilen k und l noch ein drittes h. Der mit ſeinem Rücken abwärts gerichtete Keil l heißt Löſekeil, der andere mit dem Rücken aufwärts gerichtete k Preßkeil. Während nun der Löſekeil an ſeinem Kopfe a in der durch die Zeichnung angegebenen Stellung gehalten wird, ſchlägt ein Stampfer auf den Rücken b des Preßkeiles, treibt ihn ein und drängt ſo die Oelſäcke f, f zuſammen. Dies Stampfen geſchieht gewöhnlich in zwei Abſätzen und beſteht aus dem Vorſchlagen mit 12 bis 18 Schlägen und dem Nachſchlagen mit 30 bis 40 Schlägen. Iſt der Preßkeil weit genug eingeſchlagen, ſo wird der Stampfer feſtgeſtellt, der Kopf a des Löſekeils gelöſt und nun dieſer durch einen zweiten Stampfer herabgeſchlagen. Hierdurch löſet ſich der Zuſammenhalt der einzelnen Theile, die Zwiſchenfutter und Oelſäcke werden herausgenommen, und es beginnt hierauf dieſelbe Operation mit einem neuen Satze.



Wegen der Wirkung des Keiles verweiſen wir auf den Art. Keil. H. E.

Kernſchatten, ſ. Schatten.

Keſſel-Exploſion. — Trotz allen Sicherheitsvorrichtungen, die an den Dampfkeſſeln angebracht ſind, hört man leider nur zu häufig von furchtbaren

Exploſionen, und doch hat man ſich dadurch nicht von dem Gebrauch der Dampfmaſchinen abſchrecken laſſen, da man erkannt hat, daß die häufigen Unglücksfälle nicht der Maſchine, ſondern der Unkenntniß, Fahrläſſigkeit und Tollkühnheit derer zugeſchrieben werden müſſen, denen man die Wartung der Maſchine anvertraut hat. Deshalb bewundern wir nach wie vor die Dampfmaſchine als ein Meiſterſtück des menſchlichen Scharfſinnes und lange Zeit noch wird ſie der mächtigſte Helfer in der Induſtrie bleiben.

So viele Unterſuchungen auch in Folge der zahlreichen Unglücksfälle ſtattgefunden haben, ganz im Klaren über alle Thatſachen der einzelnen Exploſionen iſt man doch nicht. Die Nachforſchungen treten ja immer erſt ein, nachdem das Unglück bereits geſchehen, und oft ſind ja die, welche allein über die näheren Umſtände Auskunft geben können, bei der Exploſion umgekommen. So umfangreich auch die Literatur über die Exploſionen bei Dampfmaſchinen iſt, ſie läßt nicht allein manche Thatſache unerklärt, ſondern iſt ſelbſt nicht einmal frei von Widerſprüchen.

Darüber jedoch iſt man einig, daß als die Haupturſache der häufig wiederkehrenden Unglücksfälle der Mangel einer hinreichenden Menge Waſſer in dem Keſſel anzuſehen iſt und hiervon trägt wiederum in den meiſten Fällen die Nachläſſigkeit des Maſchiniſten die Schuld. Iſt der Waſſerſtand in dem Keſſel ein ſehr niedriger, ſo wird dadurch ein Theil der Keſſelwände unterhalb der Feuerzüge bloßgelegt und zum Rothglühen erhitzt. Wird nun in der Folge dieſer überhitzte Theil des Keſſels wieder mit Waſſer bedeckt, ſo entwickelt ſich plötzlich eine ſo große Menge Waſſerdampf, daß der Keſſel zerſpringt. Mag auch das Sicherheitsventil noch ſo vortrefflich eingerichtet und noch ſo gut im Stande ſein, es reicht nicht aus die Gefahr abzuwenden, weil ſich ungleich mehr Dampf bildet, als aus der Oeffnung entweichen kann. Deshalb vergleicht Arago die Ventilöffnung mit dem Bette eines Gießbaches, welches zwar in gewöhnlichen Zeiten das Waſſer faßt, nach einem Platzregen aber zu eng für daſſelbe wird, ſo daß es ſich verheerend über die Ufer deſſelben ſtürzt.

Bei Hochdruckmaſchinen tritt dieſer Umſtand oft ein, wenn das Spiel der Speiſungspumpen durch irgend eine Urſache eine Zeitlang gehemmt worden iſt und dann plötzlich wieder eintritt. Bei Dampfſchiffen reicht ein ſtarkes Schaukeln des Fahrzeuges hin, um das Waſſer auf die überhitzte Wand zu ſchleudern und dadurch die Kataſtrophe herbeizuführen. Oft treten die Exploſionen ein, wenn die Maſchine nach einem Stillſtande wieder in Gang geſetzt wird. Verſperrt man den Ausgang des Dampfes plötzlich, ſo ſinkt der Waſſerſtand beträchtlich und dadurch wird ein Ueberhitzen der Keſſelwände möglich. In dem Augenblick aber, wo dem Dampfe neuerdings der Austritt wieder geſtattet wird, wallt das Waſſer in Folge des verminderten Druckes heftig auf, ſo daß augenblicklich eine ſehr tumultuariſche Dampfentwickelung eintritt. Oft führt ſogar der Heizer das Unglück muthwillig herbei. So erzählt z. B. Armſtrong in einem Werke über die Dampfkeſſel, daß zu Mancheſter in jeder Woche wenigſtens 2 bis 3 Exploſionen in den Fabriken vorkommen und zwar am Montage viel häufiger als an den anderen Tagen der Woche. Der Grund dieſer Unglücksfälle iſt ein ſehr einfacher. Das Schwärmen am Sonntage verhindert den Heizer am Montage zu gehöriger Zeit in der Fabrik zu erſcheinen. Um ſeine Nachläſſigkeit zu verbergen, bringt er nur wenig Waſſer in den Keſſel und ſetzt ein heftiges Feuer in Gang, um hinreichend

Dampf zu erzeugen, ſo daß er die Maſchine in Thätigkeit ſetzen kann, ſobald die Glocke das Zeichen für den Anfang der Arbeit giebt. Dann erſt ſchafft er die ganze für die Speiſung erforderliche Waſſermenge in den Keſſel, wobei dann oft aus dem angegebenen Grunde eine ſo große Menge Dampf entwickelt wird, daß die Keſſelwände dem dadurch auf ſie ausgeübten Drucke nicht zu widerſtehen vermögen. Zum Glück ſind dieſe Exploſionen nur ſelten von ernſten Unglücksfällen begleitet, weil die Nachwehen des Sonntags ſich bei allen Arbeitern geltend machen und dieſe ſo ſpät erſcheinen, als es die Fabrikordnung nur erlaubt. Daher verlautet darüber nach außen hin auch nur wenig; es liegt in dem Intereſſe der Fabrikbeſitzer die Exploſionen zu verheimlichen. Man ſpricht nur dann davon, wenn der Leichtſinn Menſchenopfer gefordert oder die Nachbarſchaft Schaden erlitten hat.

Namentlich bei den Locomotiven iſt eine große Wachſamkeit des Heizers erforderlich. Der beſchränkte Raum, der hier dem Dampfkeſſel gegeben werden kann, beengt nothwendig auch den Waſſer- und Dampfraum und der erforderliche Kraftaufwand macht die Dampfentwickelung ſtürmiſcher als bei den größeren Keſſeln der ſtehenden Maſchinen. Liegen hier auch die Möglichkeiten einer Exploſion viel näher, ſo gehören letztere dennoch zu den ſeltneren Ereigniſſen und die vorgekommenen haben mit wenigen Ausnahmen nur geringen Schaden angerichtet, ſo daß das Vertrauen des Publikums zu dieſer Art der Beförderung nicht erſchüttert worden iſt.

Welche Kraft der plötzlich entwickelte Dampf ausübt, ſobald Waſſer mit einer glühenden Fläche in Berührung kommt, lehren directe Verſuche, die in Amerika angeſtellt worden ſind. Man trieb hier abſichtlich in einen Keſſel, deſſen Boden rothglühend gemacht worden war, Waſſer ein; der Dampf wurde dadurch innerhalb einer Minute von einer auf 12 Atmoſphären, alſo auf einen Druck von 180 Pfund auf den Quadratzoll geſteigert, und augenblicklich trat eine heftige Exploſion ein. Man hatte nicht ſo viel Waſſer in den Keſſel eingetrieben, als nöthig geweſen wäre, um das Metall bis auf den Punkt, auf welchem die Verdampfung am ſtärkſten iſt, abzukühlen, ſonſt würde, meint man, der Druck gegen 40 Atmoſphären erreicht haben.

Die Keſſel der Dampfmaſchinen werden zwar, bevor ſie in den Gebrauch kommen, einer Prüfung unterworfen, bei der ſie einen weit größeren Druck aushalten müſſen als die gewöhnliche Belaſtung des Ventiles beträgt, aber dieſe Prüfung gewährt durchaus keine Sicherheit gegen das Vorkommen von Exploſionen. Sehen wir ganz davon ab, daß der Keſſel durch viele Umſtände bei dem Gebrauch abgenutzt und dadurch ſeine Feſtigkeit vermindert wird, ſo ſind die Verhältniſſe, die in der Praxis eintreten, doch ganz andere als die, unter denen die Prüfung vorgenommen wird. Sie findet ſtatt bei gewöhnlicher Temperatur und der Druck, den die Wände des Keſſels hierbei zu erleiden haben, wird nur allmälig geſteigert. Wendet man in der Praxis dem Keſſel alle Sorgfalt zu, ſo daß die ganze metalliſche Heizfläche ſtets mit Waſſer bedeckt iſt und dadurch verhindert wird, eine höhere Temperatur anzunehmen als die des Waſſers ſelbſt, ſo erleidet der Keſſel dadurch in ſeiner Feſtigkeit keinen Abbruch; ſie kann auch jetzt noch der Feſtigkeit bei gewöhnlicher Temperatur gleich geſetzt werden. Dieſe Gleichheit in der Temperatur der Keſſelwände und des von ihnen eingeſchloſſenen Waſſers findet aber in der Praxis ſehr ſelten ſtatt. Die in dem Waſſer aufgelöſten feſten Beſtandtheile, ſo wie die darin ſonſt noch enthaltenen organiſchen Subſtanzen bleiben bei der Ver-

dampfung zurück; ſie ſetzen ſich an und erſchweren als ſchlechte Leiter den Durchgang der Wärme. Noch größer wird die Temperaturdifferenz, wenn gar ein Theil der Heizfläche ganz vom Waſſer entblößt iſt. Die Temperaturerhöhung einzelner Theile des Keſſels iſt dann oft eine ſehr bedeutende. Sogar nicht direct erhitzte Theile, wie z. B. der Deckel, gerathen mitunter in Rothgluth, ſo daß Gegenſtände von Holz, die zufällig damit in Berührung kommen, in Brand gerathen.

Unter dieſen Umſtänden iſt die Feſtigkeit des Keſſels eine ganz andere. Nach den Verſuchen von Tremery nimmt zwar die Feſtigkeit des Schmiedeeiſens bei einer Erwärmung bis zu 160° C. etwas zu, bei weiterer Erhitzung aber in einem ſehr raſchen Verhältniſſe ab, ſo daß ſie bei dunkler Rothglühhitze nur noch $^1/_6$ der urſprünglichen Feſtigkeit beträgt. Man kommt alſo hierbei der Gränze deſſen, was der Keſſel auszuhalten vermag, ſehr nahe, oft wird dieſe ſogar überſchritten und die Exploſion tritt ein, obgleich der Druck ein ſo geringer war, daß dadurch nicht einmal das Ventil geöffnet wurde. Zudem iſt die Wirkung einer bedeutenden und plötzlich eintretenden Druckänderung eine ganz andere, als die einer nur allmälig und in faſt unmerklichen Graden ſich ſteigernden. Was bei erſterer die Wände des Keſſels auszuhalten im Stande ſind, darüber belehrt uns die Prüfung auf die Feſtigkeit des Keſſels nicht und deshalb gewährt ſie auch kein ſicheres Mittel gegen die Exploſion, denn die Prüfung beweiſt nur, was der neue Keſſel und noch dazu unter Umſtänden, die in der Praxis faſt nie vorhanden ſind, auszuhalten vermag, aber nicht, was er nach längerer Benutzung ertragen kann, wenn das Metall ſich durch Temperaturungleichheiten nach allen Richtungen gezogen hat, durch Roſten ꝛc. verändert worden iſt.

Verhindert auch das Ventil ſelbſt dann, wenn es ſich in einem vortrefflichen Zuſtande befindet, nicht immer die Zertrümmerung des Keſſels, ſo iſt doch oft als Urſache derſelben wiederum anzunehmen, daß das Sicherheitsventil ſich in keinem guten Zuſtande befand. Es ſcheint zwar auf den erſten Blick, daß ein ſo einfacher Apparat nie in Unordnung gerathen könne, aber unbedeutende Umſtände führen ſolches bei Unachtſamkeit nur zu leicht herbei. Die bewegliche Platte roſtet ſehr leicht und dann haftet ſie feſt an der Unterlage, der feſten Metallwand. Ferner ſoll ſie auch dadurch eingekittet werden, daß zwiſchen dem Ventil und ſeiner Unterlage ſich eine Quantität der feſten Subſtanzen, welche urſprünglich in Waſſer aufgelöſt waren, ablagert und eintrocknet. Ja ſelbſt die Ruhe allein reicht hin, eine ſo feſte Anhaftung der Platte zu bewirken, daß ein Druck, den der Erbauer urſprünglich als hinreichend zur Hebung des Ventiles gehalten hat, bei weitem nicht mehr dazu ausreicht. Deshalb ſagt Handsley, dem eine große Erfahrung zu Gebote ſtand, daß ein Sicherheitsventil dieſen Namen nicht mehr verdiene, wenn es nur eine einzige Woche lang ganz ungelüftet geblieben ſei. Man ſollte nicht glauben, daß dieſer Umſtand zu Exploſionen Veranlaſſung geben könnte, denn um die Gefahr abzuwenden, reicht ja aus, ſich oft davon zu überzeugen, daß das Ventil nicht auf der Unterlage feſtſitze. Aber ein Blick in die Werkſtätten lehrt uns, wie ſchwer die Arbeiter ſich dazu verſtehen, dieſe geringfügige Operation regelmäßig anzuſtellen. Man glaubt hier allgemein, daß, weil die Dampfmaſchinen gewöhnlich für ſich ſelbſt gehen, ſie auch faſt keiner Sorgfalt bedürfen.

Während man auf der einen Seite meint, daß viele Exploſionen dadurch verurſacht werden, daß der Keſſelſtein bei der ſtärkeren Ausdehnung des Metalles zerreiße und in größeren Stücken abſpringe, wo dann das Waſſer mit dem glühenden

Digitized by Google

Boden in Berührung komme, wird dieſe Thatſache auf der anderen Seite ernſtlich beſtritten. Die erſtere Annahme iſt auch durchaus nicht nöthig; denn die Hauptfläche kann bei einer großen Anſammlung des Keſſelſteines ins Glühen gerathen und dadurch Exploſionen herbeiführen, ohne daß ein Zerreißen ſtattgefunden hat. Es iſt ſogar wahrſcheinlich, daß, wenn durch ſolche Riſſe das kältere Waſſer zu dem rothglühenden Metalle gelangt, an dieſen Stellen ſogleich Berſtungen erfolgen würden. Uebrigens tragen die Ablagerungen in den Keſſeln viel dazu bei, daß das Metall ſich oxydirt und dadurch ſchnell abgenutzt wird. So führt z. B. Arago an, daß ein Keſſel, der zur Heizung der Pariſer Börſe diente, am Boden an der Stelle ein Loch bekam, wo die Arbeiter aus Verſehen einen Lappen hatten liegen laſſen. Hat der Dampfkeſſel auf dieſe Art auch nur einen einzigen Sprung oder ſelbſt nur eine ſchwache Stelle erhalten, ſo iſt er durchaus nicht mehr ſicher. Es bedarf nur einer kleinen Oeffnung, damit der Riß ſich in einem Augenblick über den ganzen Umfang des Dampfkeſſels verbreite.

Die gewaltigen Zerſtörungen, die in wenig Augenblicken durch die Exploſionen der Dampfkeſſel hervorgebracht werden, haben auf den Gedanken geführt, daß ſolche durch den Dampf allein nicht bewirkt werden können, ſondern daß hierbei noch explodirende Gaſe thätig ſein müſſen. Freilich iſt es nicht die Kraft des Dampfes allein, welche dieſe zerſtörenden Wirkungen hervorbringt, ſondern mehr die Plötzlichkeit, mit der ſich die verheerende Gewalt geltend macht. Schafhäutl in München, dem das Inſtitut der Civilingenieure in London für ſeine Abhandlung über die wahren Urſachen der Dampfkeſſel-Exploſionen *) die große ſilberne Telford-Medaille zuerkannte, iſt beſonders der Anſicht, daß nicht das einfache Uebermaß des Dampfdrucks im Keſſel allein nothwendigerweiſe eine Exploſion veranlaſſe, ſondern vielmehr verſchiedene Arten vibrirender Bewegung, welche dem Dampfkeſſel plötzlich oder in Zwiſchenräumen mitgetheilt werden, eine Exploſion zur Folge haben könnten und oft gehabt haben.

Zur Stütze ſeiner Anſicht führt er den hohen Druck an, welchen gläſerne Gefäße auszuhalten im Stande ſind, wenn der Druck allmälig geſteigert wird. Ein oder zwei Zoll lange Glasröhren, welche zum vierten Theil mit Waſſer gefüllt, hermetiſch verſchloſſen und in geſchmolzenes Zink getaucht wurden, hielten den ungeheuern Druck von 400 Atmoſphären aus, ohne zu zertrümmern. Sobald er aber das Ende einer Eiſenſtange leicht gegen das äußere Ende der Röhre drückend befeſtigte und die Stange durch Reiben longitudinal vibriren machte, ſo wurde die Röhre augenblicklich in viele Stücke zerſchmettert, während ſie doch bedeutende Stöße mit derſelben Eiſenſtange ſehr gut aushielt. Eben ſo gelang es ihm nur dann kleine gut gearbeitete Dampfkeſſel unter den gewöhnlichen Umſtänden zu zerſprengen, wenn die Sicherheitsklappe zugeſchraubt war und die Feuerſtätte bis zum Dreifachen vergrößert wurde. Aehnliche Erfahrungen machte auch das Comité des Franklin-Inſtitute in Amerika, das ſich vielfach mit Ergründung der Urſachen der Dampfkeſſel-Exploſionen beſchäftigt hat. Schafhäutl verſichert ſogar, daß der Schlag eines Hammers gegen die Waſſerkammer des Keſſels, ja ſelbſt ein kleiner Stein, den ein Knabe gegen die Wand eines Hochdruck-Keſſels ſchleuderte, Exploſionen bewirkt haben ſollen.

---

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. LXXI. S. 351 und Bd. LXXXIII. S. 10.

Erhitzt man eine Eiſenſtange ſo lange, bis ſie ſich mit flüſſiger Schlacke überzieht, legt dieſelbe über ein auf einem Amboß befindliches Waſſerkügelchen und ſchlägt mit einem Hammer darauf, ſo theilt die flüſſige Schlacke ihre Wärme augenblicklich dem Waſſer mit und dadurch wird daſſelbe in demſelben Moment mit einem lauten Knall in Dampf verwandelt. Daraus ſchließt Schafhäutl, daß, wenn einer gegebenen Waſſermenge ſo viel Wärme, als zu ihrer Verdampfung nothwendig iſt, in einem Augenblick mitgetheilt wird, z. B. wenn das Waſſer mit einer rothglühenden Fläche in Berührung tritt, ſo muß ſich in demſelben Momente der Dampf explodirend entwickeln. Die hierbei aus der Compreſſibilität des Waſſers und des Dampfes reſultirende wellenförmige Bewegung pflanzt ſich durch das Waſſer gegen den Boden und die Wände des Keſſels fort und durch den Dampf wird ſie nach dem Sicherheitsventil hingeleitet. Die Geſchwindigkeiten der Fortpflanzung der wellenförmigen Bewegung in beiden Medien ſind aber ungleich; ſie verhalten ſich wie 4,5 : 1. Nach Laplace beträgt das Leitungsvermögen des Waſſers 6036,88 Fuß und das des Dampfes bei 4 Atmoſphären und 145°,6 C. 1041,345 Fuß in der Secunde. Iſt man auch geneigt, die Zeitunterſchiede beim Durchlaufen kurzer Wegſtrecken innerhalb des Waſſers und des Dampfes für verſchwindend klein anzuſehen und will man ihnen aus dieſem Grunde keinen bemerkbaren Einfluß auf das Zerſpringen des Keſſels zugeſtehen, ſo muß man doch bedenken, daß ſie im Vergleiche mit dem Momente der Exploſion, der unendlich kleinen Zeit, in welcher die Exploſion entſteht und ſich vollendet — als unendlich groß zu betrachten ſind. Denn da zu aller Mittheilung der Bewegung Zeit erfordert wird, die ganzen Keſſelwände aber während der momentanen Entſtehung der Exploſion nicht Zeit genug haben, dem Stoße auszuweichen und vermöge ihrer eigenen Elaſticität nachzugeben, — ſo muß der Zuſammenhang der Platten da, wo ſie der Stoß trifft, zerſtört werden und der Keſſel alſo ſpringen. Eine ähnliche Erſcheinung bemerkt man, wenn man z. B. kleine Quantitäten Knallpulver aus 3 Th. Salpeter, 2 Th. kohlenſaurem Kali und 1 Th. Schwefel in einem erhitzten eiſernen Löffel zur Exploſion bringt. Hat man auf den Löffel ein Blech gelegt, ſo wird dieſes nicht fortgeſchleudert, wohl aber der Löffel durchlöchert und zwar gerade da, wo die Miſchung lag, auch wenn die Maſſe gar keinen Widerſtand nach oben zu überwinden hat.

Als das explodirende Gas, welches hauptſächlich neben dem Dampf die Exploſionen der Dampfkeſſel bewirken ſoll, nennt man Knallgas. Es iſt denkbar, daß ſich der eine Beſtandtheil deſſelben, das Waſſerſtoffgas bildet, wenn Waſſer mit rothglühendem Eiſen in Berührung kommt. Aber weder für ſich, noch mit Dampf gemiſcht, kann es detoniren. Um daher die Gegenwart des anderen Beſtandtheiles, des Sauerſtoffs, wahrſcheinlich zu machen, mußte man zu den ſeltſamſten Hypotheſen ſeine Zuflucht nehmen; denn findet wirklich unter dem angegebenen Umſtande eine Zerſetzung des Waſſers ſtatt, ſo verbindet ſich der Sauerſtoff mit dem Metall. In dem Waſſer des Keſſels iſt zwar atmoſphäriſche Luft enthalten, aber doch nur in geringer Menge. Zudem wird ſie bei der Erwärmung des Waſſers ausgetrieben und in dem Maße, als ſie entwickelt wird, führt ſie der Dampf mit dem Waſſerſtoff ſelbſt in den Pumpenſtiefel mit fort. Da das Waſſerſtoffgas nicht condenſirbar iſt, ſo würde es von hier nur mittelſt einer großen, die Wirkung der Maſchine ſehr ſchwächenden Kraft vertrieben werden können. Deshalb will man hierin die Urſache der Verlangſamung in dem Gange

der Maſchine ſehen, welche gewöhnlich dem Zerſpringen der Dampfkeſſel voraus geht, aber eine Erklärung der Exploſion ſelbſt wird dadurch nicht gegeben. Da das Waſſerſtoffgas mit dem Dampfe ſchnell fortgeführt wird, ſo kann ſich ſelbſt nicht einmal eine große Menge deſſelben in dem Keſſel anhäufen. Ueberdies verbindet ſich der Sauerſtoff der Luft viel leichter mit den glühenden Metallwänden als der des zerſetzten Waſſers.

Weiter nimmt man an, daß atmoſphäriſche Luft mit dem Waſſer durch die Pumpen in den Keſſel geführt wird oder gar, daß neben der Oxydation des Metalles bei der Zerſetzung des Waſſers auch eine Desoxydation eines Theiles der vorher oxydirten Metallfläche ſtattfindet. Beide Anſichten ſind eben ſo ſchwer durchzuführen. Selbſt dann, wenn man wirklich das gleichzeitige Vorhandenſein von Waſſerſtoff und Sauerſtoff in dem Keſſel zugeben wollte, ſo würde das Gemenge gewiß durch den Waſſerdampf ſo verdünnt werden, daß es die Fähigkeit zu explodiren verliert.

Ferner ſollen auch nach Jobard*) die organiſchen Subſtanzen, die in dem Waſſer enthalten ſind, das gefährliche Knallgas liefern. Dieſe ſetzen ſich an den Wänden an; tritt nun der Fall ein, daß die Speiſungspumpe durch irgend einen Zufall unthätig wird, ſo ſinkt natürlich der Waſſerſpiegel immer mehr und mehr und in dem Maße tritt durch Erhitzung der Wände eine trockne Deſtillation der organiſchen Maſſen ein, die das explodirende Gas liefern ſoll. Die Entzündung ſoll dadurch entſtehen, daß die bei der Zerſetzung der organiſchen Stoffe zurückbleibende Kohle ins Glühen gerathe. Man bezieht ſich hier auch auf eine Angabe von Berzelius, daß eine Beimengung von Kohlenwaſſerſtoffgas die zerſtörende Kraft eines explodirenden Gemiſches bedeutend erhöhe. Eben ſo führt man an, daß viele organiſche Subſtanzen, wie van Mons nachgewieſen hat, pyrophoriſch werden, d. h. ſich ſelbſt entzünden können.

Die Entzündung eines explodirenden Gasgemiſches kann allerdings durch hellglühendes Eiſen erfolgen; aber ſehr viele Dampfkeſſel ſind geſprungen, ohne daß man ein Erglühen der Wände hätte annehmen dürfen. Deshalb hat man ſeine Zuflucht auch zu dem elektriſchen Funken genommen, der durch die Reibung des Dampfes entſtehen ſoll.

Die Schwierigkeit, die Gegenwart des zweiten Beſtandtheils des explodirenden Gemiſches, des Sauerſtoffgaſes, in dem Keſſel nachzuweiſen, hat auf den Gedanken geführt, daß das Waſſerſtoffgas allein die Urſache der zerſtörenden Exploſion ſei. Man nimmt ein vorhergegangenes Berſten des Keſſels an, wodurch das Waſſerſtoffgas in den Ofen gelangt, ſich hier mit Luft miſcht, darauf detonirt und die Zerſtörung bewirkt. Derartiges iſt aber nicht beſtimmt nachgewieſen. Nach Anderen wieder ſollen ſich die detonirenden Gaſe im Ofen ſelbſt befinden. Die hierzu nöthigen Elemente liefern die Steinkohlen — Kohlenwaſſerſtoffgas — und das aus dem Keſſel herausſickernde Waſſer, das durch die glühenden Kohlen zerſetzt wird. Den Sauerſtoff borgt man ſich, wie Arago ſagt, von der ziemlich großen Portion des Luftſtroms, der unzerſetzt emporſteigt. Die Entſtehung exploſiver Gemenge in den Feueranlagen iſt möglich; aber doch nur in den ſeltenſten Fällen iſt hier die Urſache der Dampfkeſſelexploſionen zu ſuchen. So erzählt

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. XCIV. S. 344.

Gay-Luſſac, daß in der Salpeterraffinerie, im Pariſer Arſenal, auf dieſe Art ein Ofen gänzlich zerſtört wurde, wobei aber der Keſſel ganz unverſehrt blieb.

Daß ſich unter Umſtänden Waſſerſtoffgas durch Zerſetzung des Waſſers bilden kann, iſt wahrſcheinlich, aber nach dem Obigen nicht, daß dies die Urſache der meiſten Exploſionen ſei, wie Jobard annimmt. So will Gurney gefunden haben, daß der Dampf, welcher einem rothglühenden Keſſel entſtrömte, brannte wie Waſſerſtoffgas. Daſſelbe berichtet auch Maryé; es bleibt jedoch zweifelhaft, ob das Gas von einer Zerſetzung des Waſſers oder der Fette, die man zur Verhütung des Keſſelſteines anwendet, herrührte. Man führt zwar auch Exploſionen an, die unfehlbar durch Waſſerſtoffgas herbeigeführt worden ſind, aber die Umſtände waren hier ganz anderer Art. Eine ſolche fand 1826 in Gent ſtatt. Der Keſſel wurde am Sonnabend geleert, um am folgenden Tage gereinigt zu werden. Das Waſſer wurde jedoch nicht ganz und zwar vor dem Erlöſchen des Feuers abgelaſſen. Einzelne Theile des Keſſels mußten hierbei rothglühend werden und eine Zerſetzung des Waſſers zur Folge haben. Am nächſten Morgen hielt der Schürer nach Oeffnung des Mannsloches ſeine Lampe in den Keſſel, wie dies gewöhnlich geſchieht, wodurch das durch den Zutritt der atmoſphäriſchen Luft detonirend gewordene Waſſerſtoffgas augenblicklich entzündet wurde und nicht allein den Keſſel und die Werkſtatt zerſtörte, ſondern auch den Arbeiter tödtete. Eine ſolche Exploſion iſt ſehr einfach zu erklären; ſie iſt aber auch ganz von den gewöhnlichen Dampfkeſſelexploſionen verſchieden. Uebrigens werden verſchiedene Vorfälle dieſer Art berichtet *).

Neben der plötzlichen Dampferzeugung iſt es die allmälige Anhäufung des Dampfes, wodurch in der Regel wohl die Exploſionen bedingt werden. Hier iſt es beſonders, wo dem Leichtſinne und der Unwiſſenheit ein weites Feld ſich darbietet, entſetzliches Unheil anzurichten. Ich darf hier nur an die ſprichwörtlich gewordenen Unglücksfälle auf den amerikaniſchen Dampfbooten erinnern. Im Mechanics Magazine (No. 776) vom Jahre 1838 heißt es in einem aus dem Athenäum entlehnten Artikel hierüber: „Die ſich täglich häufende Zahl der Unglücksfälle, welche ſich mit den Dampfſchiffen in Amerika ereignen, hat ihren Grund unſtreitig in einem tollen Ungeſtüm und in einer kindiſchen Eiferſucht der Schiffsführer und Eigenthümer. Das Publikum ſollte bedacht ſein, dieſem ſchändlichen Spiel mit dem Menſchenleben ein Ende zu machen, anſtatt dieſe unſinnigen Wettfahrten durch ruhmreiche Ankündigungen in öffentlichen Blättern zu ermuntern.“ Ja noch mehr: bei Gelegenheit eines ſolchen Wettſtreites ſteht nicht allein zu beiden Ufern des Stromes das Volk in hellen Haufen und ſucht auf allerlei Art, ſowohl Männer als Frauen, die raſenden Spieler zu ereifern, ſondern die Paſſagiere ſelbſt ſind eben ſo unſinnig. Und wenn auch die nordamerikaniſche Regierung ſchon vor langer Zeit durch ein Geſetz den Schiffsführer und Maſchiniſten, durch deſſen Nachläſſigkeit, Unachtſamkeit oder Mißverhalten Beſchädigungen an Perſonen vorkommen, mit ſtrengen Strafen, ſelbſt mit dem Proceß wegen Todſchlages bedroht, ſo iſt dadurch dennoch bis jetzt wenig geändert. Wollte man alle Opfer, welche dieſen unſinnigen Wetten oder der Eitelkeit der Schiffsführer, im Laufe der Zeit verfallen ſind, zuſammenſtellen, ſo würde ſich eine nicht unbedeutende

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. LXXI. S. 270.

Zahl herausſtellen. Ein trauriger Beleg für die Geſchichte der Menſchheit und für die der freien Staaten von Nordamerika ins Beſondere.

Um die Leiſtungen der Maſchine bei dieſem frevelhaften Spiel zu erhöhen, belaſtet man das Sicherheitsventil übermäßig, ſo daß mit der Zeit der Dampf eine Spannkraft erlangt, welche die Feſtigkeit des Keſſels bei weitem überſteigt. Eben ſo giebt dazu auch oft die Eitelkeit des Maſchiniſten oder der Arbeiter, die theils der Maſchine eine erhöhte Thätigkeit geben, theils auch nur ihren Muth zeigen wollen, Veranlaſſung. Wie weit hier der Uebermuth mitunter getrieben wird, ſieht man aus der Mittheilung eines Civilingenieurs zu Newcaſtle, Chapman. Er erzählt, daß ein Arbeiter ſich auf das Ventil ſetzte, um ſeinen Kameraden das Schauſpiel einer hüpfenden Bewegung zu geben, in welche er, wie er ſagte, verſetzt werden würde, wenn der Dampf ihn erſt zu heben vermöchte. Wie voraus zu ſehen, öffnete ſich das Ventil aber nicht, ſondern der Keſſel zerſprang. Die umhergeſchleuderten Stücke verwundeten und tödteten eine große Anzahl von Perſonen.

Durch die allmälige Steigung der Spannkraft des Dampfes entſtehen auch oft Exploſionen, wenn die Ventile überhaupt nicht in Ordnung ſind. Wäre dies im Gegentheil ſtets der Fall, ſo könnten auf dieſe Art nie Exploſionen entſtehen. Hier erweiſet ſich mitunter eine ſchwache Stelle im Keſſel als Sicherheitsventil; ſie kann den Druck nicht aushalten und in Folge deſſen entſteht eine Oeffnung, die ſtatt des Ventiles den Dampf ausläßt. Wird hierdurch auch mitunter eine Exploſion verhindert, ſo darf man aus dieſem glücklichen Zufall doch nicht folgern, eine oder die andere dünnere und ſchwächere Platte zum Bau des Keſſels zu verwenden.

Um die Exploſionen, welche durch Ueberlaſtung des Ventiles entſtehen, unmöglich zu machen, hat man als Schutzmittel Scheiben aus einer Legirung von Zinn, Blei und Wismuth verwendet. Dieſe ſchmelzen bei einer um Vieles niedrigeren Temperatur, als die, welche der Spannkraft des Dampfes entſpricht, welche der Keſſel gut auszuhalten vermag. Mit dem Schmelzen der Scheiben iſt dem Dampfe ein Ausweg gegeben und man ſollte glauben, daß dadurch die Exploſionen dieſer Art unmöglich gemacht worden wären. Aber der Maſchiniſt weiß wohl, daß er das Schmelzen der Scheiben durch Abkühlen mit Waſſer verzögern kann. Ueberhaupt wird auch der Schmelzpunkt der Legirung durch den Druck, der fortdauernd darauf ausgeübt wird, bedeutend erhöht, ſo daß die Sicherheit, welche ſie bieten, keineswegs durchaus zuverläſſig iſt.

Die Exploſionen, welche durch eine fortwährende Dampfanhäufung entſtehen, laſſen ſich ſehr leicht erklären; nicht aber die, welche eine plötzliche Dampfentwickelung zur Urſache haben. Es iſt vielfach beobachtet worden, daß einzelne Stellen des Dampfkeſſels ins Glühen gerathen waren, ohne daß eine Exploſion erfolgte. Die Umſtände, welche ferner noch hinzutreten müſſen, um eine Exploſion zu bewirken, ſind nicht immer klar zu erkennen.

Beſonders auffallend erſcheint es bei den Exploſionen der letzteren Art, daß ſie oft gerade in dem Augenblick eintreten, wo das Sicherheitsventil, das ja gerade Unglücksfälle verhüten ſoll, ſich öffnet und daß der Kataſtrophe faſt beſtändig eine ſcheinbare Abnahme der Elaſticität des Dampfes vorhergeht. Dieſe Fragen hat zuerſt Perkins erörtert, indem er auf die nachtheiligen Folgen eines zu niedrigen Waſſerſtandes im Keſſel aufmerkſam machte. Hier hat der Dampf, der mit den

rothglühenden Flächen in Verbindung ſteht, zwar eine ſehr hohe Temperatur, aber doch nur eine mäßige Spannkraft. Perkins bemerkt, daß in ſolchen Fällen der Dampf eine Temperatur von 5 bis 600° erreichen kann, während die des Waſſers noch auf 100° und einige Grade darüber iſt. Oeffnet ſich das Sicherheitsventil, ſo findet eine ſchnelle Entweichung des Dampfes ſtatt und da dadurch das Waſſer von dem auf ihm laſtenden Drucke befreit wird, ſo ſchäumt es ſtark auf, ähnlich wie eine mit Kohlenſäure beladene Flüſſigkeit, ſobald man den Stöpſel der Flaſche lüftet. Ueberhaupt findet dieſes Aufſchäumen des Waſſers jedes Mal ſtatt, ſo oft der Dampf zur Speiſung der Maſchine aus dem Keſſel austritt, weil auch hier ſtets ein Theil des auf dem Waſſer laſtenden Druckes plötzlich verſchwindet, oder wenn auf irgend eine andere Art der Dampf plötzlich entweicht. In einem erhöhten Maße tritt dieſe Bewegung des Waſſers ein, wenn das Sicherheitsventil gerade in dem Augenblick geöffnet wird, wo die Maſchine, nachdem ſie ſtill geſtanden, wieder zu arbeiten beginnt.

Dadurch, daß bei dieſem Aufſchäumen das Waſſer in kleinen Tröpfchen in einen Dampf von ſehr hoher Temperatur geſchleudert wird, ſoll ſich nach Perkins, indem das Waſſer einen Theil der Wärme des Dampfes abſorbirt, eine ſo große Menge Dampf von hoher Spannkraft bilden, daß für dieſen das geöffnete Ventil keinen genügenden Ausweg darbietet. Ueberdies ſind ja die Wände des Keſſels durch die Ueberheizung geſchwächt und daher erfolgt leicht eine Exploſion.

Der Behauptung von Perkins, daß eine ſehr hohe Temperatur des Dampfes ſelbſt bei ſchwacher Spannung beſtehen könne, ſteht freilich nichts entgegen. Da das Waſſer weniger heiß iſt, als der Dampf, welcher leicht die Temperatur der überheizten Wände annimmt und ſie nur dem Deckel des Keſſels mittheilt, ſo kann die Spannung dieſes Dampfes niemals die übertreffen, welche der Temperatur des Waſſers entſpricht. Der Temperaturüberſchuß des Dampfes kann alſo nur die Dichtigkeit deſſelben vermindern, ſo daß bei fortwährend vermindertem Waſſerſtand zuletzt eine beträchtliche Abnahme der Spannung eintreten wird. Dagegen aber hat Dulong gezeigt *), daß, wenn das emporgeſpritzte Waſſer durch die theilweiſe Abgabe der Wärme des Dampfes in Dampf verwandelt wird, nicht eine neue Spannkraft zu der ſchon vorhandenen hinzutritt, ſondern daß vielmehr hierdurch eine plötzliche Verminderung der Spannkraft des Dampfes herbeigeführt wird, und zwar iſt dieſe um ſo beträchtlicher, je höher die Temperatur des Dampfes. Dieſe plötzliche Verminderung der Spannkraft hat unmittelbar ein gewaltiges Aufſchäumen des Waſſers zur Folge und dadurch, daß das emporgeſchleuderte Waſſer mit den überheizten Keſſelwänden in Berührung kommt und dieſe den Ueberſchuß der Wärme an daſſelbe abgeben, wird eine große Menge Dampf entwickelt, welche eine Exploſion herbeiführt. Arago führt zwar **) einen Verſuch an, auf welchen Perkins ſeine Anſicht ſtützt, aber auch hier iſt es mehr als wahrſcheinlich, daß die plötzliche Zunahme der Spannkraft des Dampfes von der directen Einwirkung der glühenden Wände herrührte.

Man hat hiergegen zwar den Leidenfroſt'ſchen Verſuch angeführt, der uns zeigt, daß Waſſer auf glühendem Metall nur ſehr wenig verdampft. Dies

*) Pogg. Ann. Bd. XXV. S. 596.
**) Pogg. Ann. Bd. XVIII. S. 419.

findet jedoch nur ſtatt, wenn einzelne Tropfen mit dem glühenden Metall in Berührung kommen. Wegen ihres unbedeutenden abſoluten Gewichtes und der geringen Adhäſion der Flüſſigkeiten zu dem glühenden Metall verändern die Waſſertropfen ihre Kugelgeſtalt nur wenig. Sie bieten daher dem unmittelbaren Uebergange der Wärme nur eine geringe Berührungsfläche dar. Anders iſt es dagegen, wenn durch das ſtarke Aufſchäumen des Waſſers daſſelbe gegen die glühenden Keſſelwände geſchleudert wird. Es iſt hier wohl denkbar, daß eine große Berührungsfläche gebildet wird und dieſe macht die gewaltige Dampfentwickelung leicht erklärbar.

Die Verlangſamung im Gange der Maſchine, die man gewöhnlich einige Zeit vor der Exploſion wahrnimmt, erklärt Arago *) auf folgende Weiſe. Die Dampfmenge, welche ſich in einer gegebenen Zeit entwickelt, iſt im Allgemeinen der Größe der mit der Flüſſigkeit in Berührung ſtehenden Metallfläche proportional. Hat dieſe durch das Sinken des Waſſerſpiegels an Größe abgenommen, ſo kann ſich nicht mehr die zum gewöhnlichen Gange der Maſchine erforderliche Dampfmenge entwickeln. Man könnte glauben, daß durch die Steigerung der Temperatur, welche der Dampf erfährt, hier eine Compenſation eintreten könnte, aber wir haben ſchon gezeigt, daß hierdurch die Elaſticität des Dampfes nicht über die geſteigert werden kann, welche der Temperatur des Waſſers entſpricht.

Mit der Theorie von Perkins bringt Arago auch das häufig vorkommende Reißen der Seitenwände in horizontaler Linie in Verbindung. Daß hier die Linie des Waſſerſpiegels, trotz der ungleichen Dicke des Keſſels in derſelben zur Linie des geringſten Widerſtandes wird, erklärt er durch die ſchnell auf einander folgende Verminderung und Vermehrung der Spannung, wodurch der obere Theil der Keſſelwände bei der Trägheit des in dem Keſſel befindlichen Waſſers um die in der Höhe des Waſſerſpiegels befindliche Linie zuerſt von Außen nach Innen eingebogen, dann aber wieder plötzlich ausgedehnt wird. Man braucht nur ein einziges Mal geſehen zu haben, mit welcher Leichtigkeit ſich Bleche, ſelbſt aus den geſchmeidigſten Metallen, zerbrechen laſſen, wenn man ſie in einer Linie plötzlich einmal hin und her biegt, um zu begreifen, wie die Linie, bis zu welcher ſich das Waſſer im Keſſel erhebt, dadurch, daß ſie als Charnier für die beiden entgegengeſetzten Biegungen dient, für gewöhnlich auch zur Linie des Zerreißens dient. Uebrigens theilt dieſe Linie, was wohl zu merken iſt, den Keſſel in zwei Zonen von ſehr ungleicher Feſtigkeit, indem oberhalb derſelben das Metall weit ſtärker erwärmt iſt als das Waſſer.

Mit Hülfe der Theorie von Perkins erklärt Arago alle Exploſionen, deren nähere Umſtände feſtgeſtellt worden waren. Wir wollen hier nur auf zwei merkwürdige Thatſachen aufmerkſam machen: auf das faſt gleichzeitige Zerſpringen mehrerer Keſſel, die gemeinſchaftlich zur Speiſung einer einzigen Dampfmaſchine angewendet wurden **) und auf das Zerſpringen eines Keſſels in freier Luft ***). Da im erſteren Falle alle Keſſel durch ein und dieſelbe Pumpe geſpeiſt werden und die Arbeiter bei der Verdampfung des Waſſers das Feuer in jedem der Oefen

*) Pogg. Ann. Bd. XVIII. S. 421.
**) A. a. O. S. 292.
***) A. a. O. S. 299.

verſtärken, ſo iſt ein ſtarkes Sinken des Waſſerſpiegels und eine ungewöhnliche Erhitzung der Wände gleichzeitig in allen Keſſeln ſehr leicht denkbar. Nimmt man nun an, daß der erſte Keſſel in Folge des Aufſpringens des Sicherheitsventiles explodirt, ſo wird die Röhre, durch welche der Dampf dieſes Keſſels gehen muß, um in den Pumpenſtiefel zu gelangen, von jetzt an in die Atmoſphäre münden. Da nun jeder Keſſel eine ſolche Röhre hat und alle in demſelben Cylinder zuſammenlaufen, ſo ſtehen dieſe durch denſelben auch alle in freier Communication mit der Luft. Der Dampf, der ſie erfüllte, ſtrömt mit Schnelligkeit durch dieſen weiten Kanal aus und in einer unmerklichen Zeit ſtellen ſich bei allen Keſſeln dieſelben Bedingungen zum Zerſpringen ein, die in dem ſchon zerſprungenen vorhanden waren, ohne daß man ein gleichzeitiges Oeffnen aller Ventile anzunehmen braucht.

Um eine Einſicht in den zweiten Vorfall zu gewinnen, iſt eine Erörterung einiger Vorbegriffe zweckmäßig. Man darf nicht glauben, daß ein aus gehämmerten Platten beſtehender Keſſel nothwendig an ſeiner Stelle bleiben müßte, welche Oeffnung auch in ihm entſtünde. Iſt der Keſſel völlig verſchloſſen, ſo bleibt er zwar in Ruhe, wie groß auch die Elaſticität des darin eingeſchloſſenen Gaſes ſein mag; allein dies rührt daher, daß der Druck auf jeden Punkt der Wand durch den Druck auf den gegenüberliegenden Punkt aufgewogen wird. Der Keſſel würde ſich aber heben, wenn der Druck gegen die obere Wand dazu ausreichte und gleichzeitig der ihm gleiche Druck, welcher auf den Boden von oben nach unten wirkt, vernichtet, oder, was ganz einerlei iſt, der Boden des Keſſels plötzlich zerſtört würde. Die nicht aufgehobene Kraft, die in ähnlichen Fällen eine Bewegung herbeiführt, nennt man Reactionskraft.

Nun wird es leicht ſein, zu erklären, wie ein Dampfkeſſel in der Luft zerſpringen könne. Wird durch die ſtarke Dampfentwickelung, die in der Regel der Exploſion vorhergeht, das Ventil geöffnet, welches ſich gewöhnlich oben im Deckel befindet, ſo drückt die Reactionskraft den Keſſel nur noch ſtärker gegen ſeine Unterlage. Entweicht aber der Dampf in einer Richtung von oben nach unten aus einem Riſſe in den Seitenwänden, ſo kann der Keſſel, falls der Dampf nur die nöthige Spannkraft beſitzt, in der entgegengeſetzten Richtung fortgeſchleudert werden, denn er befindet ſich unter denſelben Umſtänden wie eine Rakete. Bei dieſer findet das durch die Verbrennung des Pulvers entwickelte Gas eine Wand, auf welche es gegen die Spitze der Rakete hin wirken kann, während gegenüber, an der Baſis des Kegels, die Wand fehlt. Auf dieſe Weiſe ſteigen die Raketen in die Höhe. Beim Emporſchleudern des Keſſels tritt nun nothwendig durch die Erſchütterung ein bedeutendes Schwanken des Waſſers ein und dies hat wieder eine gewaltige Dampfentwickelung zur Folge, durch die der Keſſel aus einander geſprengt wird.

Gegen die Theorie von Perkins ſind von verſchiedenen Seiten Zweifel erhoben worden. So glaubt Hauy *), daß man zur Erklärung aller Phänomene, die bei Exploſionen auftreten, weder einen großen Unterſchied zwiſchen der Temperatur des Dampfes und jener des Waſſers, welches denſelben liefert, noch ein Sinken des Waſſerſtandes im Keſſel, noch ein tumultuariſches Aufſieden und ein Emporſchleudern der Flüſſigkeit anzunehmen nöthig hat. Ihm genügt die Annahme,

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. XLVIII. S. 333.

daß wenn eine höhere Temperatur des Keſſels einerſeits eine raſchere Verdampfung hervorbringt, doch andererſeits die Wände die Eigenſchaft verlieren, von dem Waſſer benetzt zu werden, ſo daß alſo die Berührungspunkte ſich vermindern und die Wärme nur in Entfernungen abgegeben werden kann. Um mit dieſer einfachen Grundlage auszureichen, nimmt Hauy freilich an, daß die Temperatur des Maximums der Verdampfung nicht der Siedepunkt iſt, ſondern wenig über der dunkeln Rothglühhitze liegt. Daher kann denn auch das Leidenfroſt'ſche Phänomen, auf welches die Erklärung, welche uns hier für die Keſſel-Exploſionen geboten wird, hinausläuft, bei jedem Keſſel, ſelbſt wenn er gehörig mit Waſſer verſehen und nur der Boden dem Feuer ausgeſetzt iſt, eintreten. Dieſe Annahme macht es unnöthig auf dieſe Theorie weiter einzugehen.

Boutigny *) ſieht gleichfalls das Leidenfroſt'ſche Phänomen oder wie er es nennt, den ſphäroidalen Zuſtand, als die Urſache der plötzlichen Dampfentwickelung an, durch welche die Exploſionen bewirkt werden. Wie Boutigny aber mit ſeiner neuen Phyſik überhaupt wenig Glück gemacht hat, ſo auch hier. Man nennt ſeine Auffaſſungsweiſe eine unwiſſenſchaftliche, wenn ſchon ſie von der franzöſiſchen Akademie mit 1000 Franken belohnt worden iſt.

Jacquemet, ein Fabrikant in Bordeaux, verwirft **) ſämmtliche Angaben, die wir oben als die Urſachen einer plötzlichen Dampfentwickelung angegeben haben. Er beruft ſich hierbei auf das Experiment und die Praxis. Nach ihm giebt es keine plötzliche Dampferzeugung durch die geſammte, unter gewiſſen, oben angeführten Umſtänden, aufgeſpeicherte Wärme. Und ſelbſt dann, wenn es ſich hierbei ſo verhalten ſollte, wie man bisher annimmt, ſo glaubt er dennoch durch Rechnung den Beweis geliefert zu haben, daß die durch Geſetze vorgeſchriebene Weite der Sicherheitsventile, welche oft noch von den Maſchinenbauern zur Verminderung der Möglichkeit einer Exploſion überſchritten wird, vollkommen ausreiche, um alle Dämpfe hinaus zu laſſen, die ſich unter allen nur denkbaren Umſtänden bilden können.

Er ſieht als die einzige Urſache der Exploſionen eine Hemmung des Dampfausfluſſes an, die auf folgende Art herbeigeführt werden ſoll. Giebt man dem Dampfe in dem oberen Theile des Keſſels einen freien Ausweg durch eine Oeffnung, welche im Vergleich zur Feuerfläche ſehr klein iſt, ſo geht nur Dampf heraus. Iſt aber die Oeffnung ein wenig größer, ſo kommt gleichzeitig mit dem Dampf eine gewiſſe Menge Waſſer, welche deſto größer iſt, je weiter die Oeffnung. Bei einer Weite endlich, die noch unter derjenigen iſt, welche man gewöhnlich dem Ventile giebt, kommt nur Waſſer, dem Dampfe wird plötzlich der Weg verſperrt, ſo daß er ſich durch eine Exploſion Bahn bricht.

Dieſen Vorgang ſucht Jacquemet dadurch zu erklären, daß, bevor der Ausweg geöffnet wird, das im Keſſel befindliche Waſſer eine bedeutende mit der Temperatur proportionale Menge Dampf einſchließt, der ſich eben bilden will, und deſſen Druck demjenigen gleich iſt, welchen die den freien Raum erfüllenden Dämpfe

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. LXXXIII. S. 457.

**) Mémoire sur la cause des explosions dans les chaudières à vapeur et les moyens de les prévenir. Paris 1840. Deutſch: Verhandl. d. Vereins z. Beförderung d. Gewerbefleißes in Preußen. 1841. S. 180 u. 229.

beſitzen. Iſt die Oeffnung nur klein, ſo wird der Dampf mit einer Preſſung entweichen, die nur wenig von derjenigen verſchieden iſt, welche der Kraft der entſtehenden Dämpfe das Gleichgewicht hält. Die Dampfblaſen werden, wegen ihrer ſpecifiſchen Leichtigkeit, Zeit haben die Oberfläche zu gewinnen, um von dort zu entweichen und es wird in dieſem Falle nur Dampf herausgehen. Wird aber beim Aufmachen einer geräumigen Oeffnung das Gleichgewicht völlig geſtört, die Spannung alſo plötzlich vermindert, ſo erhebt ſich das Waſſer als Schaum, deſſen Bildung durch die als Schlamm ausgeſchiedenen feſten Beſtandtheile des Waſſers ſehr erleichtert wird, und da das Waſſer nicht Zeit hat ſich in Dampf zu verwandeln, wird es mit dem Dampfſtrom fortgeführt. Daſſelbe kann durch eine zufällige Vermehrung des Dampfausfluſſes beim Gang der Maſchine eintreten und dadurch gleichfalls Waſſer in die den Dampf fortführenden Röhren gelangen, wodurch Jacquemet die kurz vor der Exploſion eintretende Verlangſamung im Gange der Maſchine erklärt. Während die Sicherheitsventile, nach der Anſicht von Jacquemet, vollſtändig ausreichen, um in einem ſehr kurzen Zeitraume ein außerordentlich großes Volumen von Dampf herauszulaſſen, kann aus ihnen doch nur ein kleines Volumen Waſſer treten, welches bei einem innern Druck von 5 Atmoſphären nur eine Geſchwindigkeit von 28 Meter in der Secunde hat, während der Dampf eine ſolche von 5 bis 600 Meter beſitzt. Wenn nun in dieſem Fall die Bildung neuer Dämpfe, die nöthig ſind, um den durch das Ausſtrömen leer gewordenen Strom wieder zu ſättigen, nicht vermag die während der Zeit hinzugekommene Wärme zu abſorbiren, ſo wird die Temperatur der Flüſſigkeit deſto mehr ſteigen, je mehr ihre Maſſe abnimmt und die daraus entſpringende elaſtiſche Kraft des Dampfes muß nothwendig das Berſten des Keſſels herbeiführen.

Jacquemet berechnet, daß bei einem Druck von 5 Atmoſphären, wenn der vom Dampf eingenommene Raum des Keſſels 1000 Liter oder das Gewicht dieſes Dampfes 2,58 Kilogramm beträgt und in einer Secunde 2,46 Kilogramm Dampf gebildet werden, die Spannung am Ende der zweiten Secunde 14 Atmoſphären beträgt. Vermag der Keſſel nicht mehr als das Dreifache des Druckes, bei dem er zu arbeiten beſtimmt iſt, auszuhalten, ſo muß nothwendig die Exploſion zu Anfange der dritten Secunde erfolgen. Selbſt dann, wenn nicht, wie dies in der Wirklichkeit auch wohl der Fall iſt, reines Waſſer, ſondern ein Gemenge von Waſſer und Dampf ausſtrömte, ſo daß wegen der geringern Dichtigkeit und dadurch bedingten bedeutenderen Geſchwindigkeit, ſelbſt das vierfache Volumen fortgeſchafft würde, ſoll die Exploſion um kaum eine Secunde verzögert werden. Für den Fall, daß durch eine Ueberhitzung der Wände die Dampfentwickelung ſehr vermehrt wird, kann man dieſe Annahme gelten laſſen; bei einer normalen Dampfentwickelung jedoch erfolgt die Druckvermehrung keineswegs ſo ſchnell, wie Jacquemet annimmt. Würde er auch dieſen Fall berechnet und ihm ſeine bisherigen Annahmen zu Grunde gelegt haben, ſo würde er gefunden haben, daß eine geraume Zeit dazu gehört, um den Druck auf das Doppelte zu ſteigern und daß dieſer Zeitraum ausreicht, um mehr als das doppelte Volumen Waſſer ausfließen zu laſſen, das der Keſſel überhaupt zu faſſen vermochte. Dies gilt ſelbſt dann, wenn man annimmt, daß ſtets Waſſer ausſtrömt, während in Wirklichkeit das Austretende doch ein Gemiſch von Waſſer und Dampf iſt. Zudem muß ja die Bildung neuen Schaumes aufhören, ſobald die Spannung größer wird, als die zur Temperatur der Flüſſigkeit gehörige. Uebrigens gelang es Arago, Dulong und Sorel

nicht, den Druck im Keſſel dadurch zu erhöhen, daß ſie dem Dampf einen weiten Ausweg gewährten.

Es ſcheint, daß Jacquemet dieſe Unſicherheit ſelbſt gefühlt hat. Wenigſtens legt er im Verlaufe ſeiner Abhandlung auf dieſen Umſtand kein ſehr großes Gewicht, indem er als die eigentliche Urſache der Exploſion noch einen anderen aufführt. Es iſt dies der Stoß, der jedes Mal ſehr fühlbar in dem Augenblick eintritt, wo die Flüſſigkeit in die Ausflußöffnung gelangt und den Ausfluß des Dampfes plötzlich hemmt und der nun eben ſo plötzlich einen Druck gegen die Wände des Keſſels äußert, der an verſchiedenen Stellen eine ungleiche Stärke beſitzt. Aus der ungleichen Stärke des Druckes gegen verſchiedene Stellen der Wände erklärt Jacquemet auch das zuweilen vorkommende Reißen derſelben in horizontaler Linie.

Die ganze Wichtigkeit dieſes Umſtandes will Jacquemet erſt im Verlaufe ſeiner Unterſuchungen erkannt haben. Er ſieht darin eine mächtige und ſchnelle Urſache der Exploſion, die es ſelbſt dann noch bleibt, wenn der Zufluß der Wärme vom Herde außerordentlich langſam iſt. Ja er geht noch weiter und behauptet, daß, wenn ein beſtimmter Druck im Innern vorhanden iſt, und man das Eindringen einer größeren Wärmemenge, z. B. durch das Auslöſchen des Feuers hemmt, das ſchnelle Aufmachen einer weiten Oeffnung ebenfalls noch den Keſſel in einem Theile ſeiner Wandung einem Drucke ausſetzt, der viel beträchtlicher iſt, als der zuvor von dem Keſſel ausgehaltene und das Zerreißen deſſelben veranlaſſen kann.

Jacquemet hat es unterlaſſen, durch Rechnung, obgleich er ſonſt damit nicht ſehr ſparſam iſt, den Nachweis zu liefern, daß dieſer Stoß wirklich die Kraft beſitzen kann, um einen ſonſt in gutem Zuſtande befindlichen Keſſel zu zerſprengen. Er führt an, daß die Theorie des Stoßhebers mit deſſen Wirkung er dieſen Stoß vergleicht, noch nicht ſo ausgebildet ſei, um eine Baſis für die mathematiſche Berechnung des Druckes abgeben zu können, welchen gewiſſe Theile des Keſſels unter den verſchiedenen Bedingungen, die man als möglich vorausſetzen kann, auszuhalten haben.

Eine ähnliche Urſache giebt auch Genſoul*) für die Unglücksfälle an, welche manchmal durch das plötzliche Oeffnen der Ventile herbeigeführt werden. Er glaubt hierbei folgende Thatſache auf die Dampfkeſſel anwenden zu können. Bei einem Metallrohr, das eine ſtark zuſammengedrückte Flüſſigkeit enthält, genügt ein ſchwacher Schlag auf ſeine Wände, um es zu zertrümmern, während eine ſelbſt ſehr ſtarke Vermehrung des Drucks, ſobald ſie allmälig und ohne Stoß eintritt, eine ſolche Wirkung durchaus nicht äußert. In Folge deſſen genügt ſeiner Anſicht nach, ſobald die Wände der Dampfkeſſel durch den Dampf ſtark von innen nach außen geſpannt werden, der geringſte Stoß, um eine Exploſion herbeizuführen. Ein ſolcher ſoll nun eintreten durch die heftige Rückwirkung, welche der Keſſel gegenüber der Stelle erfährt, wo der Dampf plötzlich entweicht. Hier wäre aber erforderlich, daß der Dampf vor der Exploſion eine große Spannkraft beſitze, wogegen doch oft dieſe Unglücksfälle in dem Augenblick eintreten, wo der langſame Gang der Maſchine eine völlige Sicherheit ſcheint einflößen zu müſſen.

---

*) Pogg. Ann. Bd. XVIII. S. 429.

Donny hat gefunden *), daß, wenn man möglichſt von Luft befreites Waſſer erhitzt, das Sieden eine auffallende Einwirkung durch die Cohäſion und Adhärenz erleidet. Es gelang ihm Waſſer bis etwa 135° C. zu erhitzen, ohne daß ſich die geringſte Spur von Sieden zeigte, obgleich das Waſſer keinem Druck unterworfen war. Gelang es endlich die Flüſſigkeit zu zertheilen, ſo trat eine dermaßen bedeutende und plötzliche Dampfbildung ein, daß ſie ſehr einer Exploſion glich. Durch anhaltendes Sieden von Luft befreiten Waſſers konnte Donny im Kleinen Exploſionen nachahmen, die denen der Dampfkeſſel ähnlich waren; der kleine, freilich ſehr zerbrechliche Apparat zerbrach und die Ausdehnung des Dampfes ſchleuderte die Glasſtückchen weit fort. Da nun das Waſſer in den Dampfkeſſeln durch anhaltendes Kochen von der darin eingeſchloſſenen Luft befreit wird, ſo ſcheint es ihm nicht „unvernünftig", daß eine plötzliche Aufhebung der Cohäſion die unmittelbare oder mittelbare Urſache der ſchrecklichen Dampfkeſſel-Exploſionen werden kann.

Bei den Dampfmaſchinen kommt mitunter noch eine andere Art von Exploſionen — ein Eindrücken der Keſſel von außen — vor. Arago ſchreibt dieſe der plötzlichen Condenſation der Dämpfe, z. B. durch Eintreten von kaltem Waſſer in den mit Dampf erfüllten Raum, nachdem das Feuer ausgelöſcht worden iſt, zu, wo dann der atmoſphäriſche Druck in einem faſt untheilbaren Augenblick ſein Gegengewicht verliert und dadurch auf die geſammten Wände des Keſſels als ein Stoß wirkt. Bei Keſſeln, die nur bei einem ſehr geringen Druck arbeiten und außerdem noch durch Ueberheizung bedeutend geſchwächt worden ſind, kann dieſer Fall wohl unter den angegebenen Umſtänden eintreten, aber daß ein ſolches Vacuum, in einem Keſſel, der ſich in voller Thätigkeit befindet, entſtehen könne, wie dies behauptet worden, iſt eine Annahme, die jeder Stütze entbehrt.

Auch in offenen Keſſeln kommen Exploſionen vor. Parkes **) ſpricht von ſolchen, die beim Aufbrechen der Kalkkruſten in den Salzſiederpfannen auftreten. Kam hierbei die Soole mit der rothglühenden Fläche in Berührung, ſo wurde unmittelbar darauf eine mächtige Waſſerſäule in die Höhe geſchleudert. Ueber eine ſowohl in theoretiſcher als praktiſcher Hinſicht ſehr merkwürdige Exploſion dieſer Art berichtet Conrad ***). Sie fand ſtatt in einer Fabrik zu Eilenburg beim Eindampfen einer holzeſſigſauren Natronlöſung, die durch Zerſetzung des holzeſſigſauren Kalkes durch ſchwefelſaures Natron bereitet worden war. Ein eiſerner Keſſel von $1\frac{1}{2}$′ Tiefe, 2′ im Durchmeſſer und $\frac{3}{4}$″ dicken Wänden war bis zu zwei Drittel mit der heiß filtrirten Löſung gefüllt, die während des Abdampfens durch einen zuverläſſigen Arbeiter mittelſt eines hölzernen Spatels bewegt wurde. Urplötzlich erfolgte ein eigenthümlicher, dem Kanonendonner kaum vergleichbarer Knall, der, begleitet von einer eben ſo momentanen Feuererſcheinung, den Keſſel zerſprengte und dadurch bedeutende Zerſtörungen anrichtete. Der Arbeiter wurde nur wenige Schritte vom Keſſel entfernt erſchlagen gefunden; 10 Pfund ſchwere Randſtücke des Keſſels 150 Schritt weit fortgeführt. Ein Mauerſtein war mit ſolcher Gewalt gegen eine 70 Schritt entfernte Wand geworfen,

*) Pogg. Ann. Bd. LXVII. S. 372.
**) Dingler's polyt. Journ. Bd. LXXXIII. S. 16.
***) Journ. f. prakt. Chemie. Bd. XLIV. S. 190.

daß ein Stück deſſelben, gleich einer Kanonenkugel, darin ſitzen blieb. Zwei Arbeiter, die ſich in einem anderen Flügel des Gebäudes auf der Treppe befanden, wurden heruntergehoben und nach ihren Ausſagen durch einen blauen Dunſt zum Fenſter hinausgetrieben. Der Knall wurde in einer Entfernung von mehr als zwei Stunden gehört und die Erſchütterung war ſo groß, daß ſelbſt in dem 600 Schritt entfernten Hospital und anderen Gebäuden mehrere Scheiben zerſprangen; ſelbſt auf dem Markte, mitten in der Stadt ſprangen Thüren und Fenſter auf und wurden Möbel und Hausgeräth in Bewegung geſetzt.

Nach der Detonation fand ſich am Boden des Keſſels ein Abſatz, der zumeiſt aus ſchwefelſaurem Natron beſtand; da, wo er am Keſſel anlag, war er in einer Dicke von 2 bis 3 Linien verkohlt. Es iſt möglich, daß der Boden des Keſſels ins Glühen gerathen und dadurch eine Reduction des ſchwefelſauren Natrons durch die Kohle zu Schwefelnatrium eingetreten war, während ſich noch Flüſſigkeit über dieſer Kruſte befand, durch deren Zuſammentreffen mit der glühenden ſchwefelnatriumhaltigen Maſſe die Exploſion entſtand. Es iſt ja bekannt, mit welcher Heftigkeit ſich manche Pyrophore beim Zuſammentreffen mit Waſſer entzünden und explodiren. Dieſe in ihren Folgen furchtbare Exploſion zeigt aufs Eindringlichſte, wie vorſichtig man ſein muß beim Erhitzen von Flüſſigkeiten, ſobald ſolche die Keſſelwände mit einer Kruſte überziehen, ſo daß ein Erglühen der Wände möglich iſt.

Auf eine Erörterung derjenigen zahlreichen Vorrichtungen, die man angegeben hat, um die zerſtörenden Exploſionen zu verhindern, gehen wir hier nicht ein, da ſie durchaus keine Gewähr leiſten, ſo lange die Dampfmaſchinen ungeſchickten, unerfahrenen und einfältigen Arbeitern überlaſſen ſind, die keine Einſicht beſitzen in die Vorgänge, zu deren Ueberwachung und Regelung ſie beſtimmt ſind. Im Gegentheil ſind die Vorrichtungen nur ſchädlich, ſobald ſie als Univerſalmittel angeprieſen werden, indem ſie der Fahrläſſigkeit nur Vorſchub thun. Da der Maſchiniſt oder Heizer, deren Unachtſamkeit allein die Schuld der Exploſion trägt, zumeiſt bei dergleichen Fällen als die erſten Opfer fallen, ſo ſollte man glauben, daß dieſer Umſtand ausreichen müßte, um dieſe Leute zur größten Achtſamkeit anzutreiben; aber die Erfahrung lehrt gerade das Gegentheil. Dieſe gefährliche Sorgloſigkeit hat zumeiſt ihren Grund in der Gleichgültigkeit, die eine jede Vertrautheit mit irgend einer Gefahr ſtets erzeugt und in dem Umſtande, daß eine ſorgſame Vorſicht ſo ſehr leicht für Furchtſamkeit gehalten und von Anderen lächerlich gemacht wird. Die Erfahrung zeigt, daß da, wo das Brennmaterial billig und die Koſten deſſelben nicht ſehr ins Gewicht fallen, die Exploſionen viel häufiger vorkommen als da, wo man wegen des hohen Preiſes des Brennmaterials gezwungen wird, ökonomiſch damit umzugehen. Den Beweis hierfür liefern z. B. die Kohlendiſtricte in England. In einem kleinen Diſtricte um Wednesbury ereigneten ſich im Laufe eines Jahres (1842) mehr Exploſionen an Niederdruckkeſſeln als in Cornwallis innerhalb 40 Jahren, obgleich man ſich hier des höchſten Druckes bediente. Parkes iſt auch der Anſicht, daß die Kohlendiſtricte von Northumberland, Durham und Staffordſhire mehr Unglücksfälle dieſer Art aufzuweiſen haben als das ganze übrige England. Er glaubt im Beſitze von faſt allen Exploſionen zu ſein, welche ſeit dem Erlöſchen von Watt's Patent in Cornwallis, von welchem Zeitpunkte man anfing, die Maſchinen mit höherem Druck arbeiten zu laſſen, ſich ereigneten, und doch laſſen ſich nur 5 oder 6 Beiſpiele anführen. Auch in

London finden im Verhältniß zu der Zahl der verwendeten Dampfkeſſel weniger Exploſionen ſtatt, als in irgend einem anderen Diſtricte von England. Den Grund dieſer Thatſache ſucht man gleichfalls in den bedeutenden Preiſen des Brennmaterials, die eine größere Oekonomie gebieten. Man achtet deshalb mehr auf eine regelmäßige Dampfzuführung und vermeidet ſorgfältig jene intenſive Thätigkeit des Feuers, welche, wenn die Maſchine auf einige Zeit ſtill ſteht, eine Exploſion zu veranlaſſen geneigt iſt.

Es iſt zuverläſſig, daß der Dampf ſich leicht und ohne alle Gefahr anwenden läßt, wenn die Vorrichtungen oder Maſchinen, durch die er wirken ſoll, in den rechten Händen ſind. Die Praxis ſelbſt liefert die Beweiſe dafür. Sogar in den berüchtigten Kohlendiſtricten Englands findet man ſolche; ſo kam in einem Eiſenwerke bei Dudley in einem Zeitraume von 30 Jahren keine Exploſion vor. Im franzöſiſchen Departement Oberrhein kam bei 250 Dampfkeſſeln in 10 Jahren nur ein einziger bedeutender Unfall vor.

Wenn nun zur Genüge dargethan worden iſt, daß die ſo vielen Schaden anrichtenden Exploſionen keineswegs eine unerläßliche Beigabe der Dampfmaſchinen ſind, ſo ſcheint es einerſeits wünſchenswerth, daß durch geeignete Maßregeln die Zahl der Exploſionen, durch welche jährlich eine nicht unbedeutende Zahl von Menſchen ums Leben kommen, beſchränkt wird, wobei man aber im Auge behalten muß, daß durch ein unzweckmäßiges Eingreifen höchſt nachtheilige Folgen für die Induſtrie herbeigeführt werden können. Andererſeits aber lehrt auch die Erfahrung, daß durch Strafen und ähnliche Maßregeln nichts gebeſſert wird, obgleich erſtere nicht unbedeutend ſind. Als einen Beleg hierzu wollen wir einen Ausſpruch der Jury anführen, welchen dieſe bei Gelegenheit der zweiten Exploſion in kurzer Zeit über das Dampfſchiff Victoria 1838 ausſprach. Er giebt zu dem noch mancherlei Einſicht in die Urſachen dieſer Unglücksfälle. „Wir ſahen nie ein Dampfboot, welches in Bezug auf die Paſſagiere mit mehr Glanz, Geſchmack und Bequemlichkeit ausgerüſtet geweſen wäre; nie ſahen wir aber auch je ſo wenig auf die Maſchiniſten und Heizer Rückſicht genommen. Denn der dieſen gegönnte Aufenthalt entſpricht allen unſeren Begriffen von einem vollendeten Pandämonium. Der Bau der Keſſel der Victoria war unſicher; die Waſſerräume waren zu eng; die Platten zu dünn. Endlich erklären wir es auch für höchſt tadelnswürdig, daß die Maſchiniſten vom Maſchinenraume aus keinen unmittelbaren Einfluß auf das Sicherheitsventil üben konnten. Wir verfällen daher den Keſſel und die Dampfmaſchine der Victoria in eine Strafe von 1500 Pfd. Sterling."

In neuerer Zeit iſt man wieder ſehr bemüht, die Polizei gegen dieſe Unglücksfälle aufzurufen. Man fordert wieder, wie ſchon oft geſchehen, daß die, welchen die Aufſicht über Dampfmaſchinen anvertraut werden ſoll, ein Examen abgelegt haben ſollen. Es ſind aber mehr als oberflächliche Kenntniſſe erforderlich, um die Einrichtung der Maſchine genau zu verſtehen und mit den Naturgeſetzen vertraut zu ſein, auf denen ihre Wirkung beruht. Wie man heute bei dem Zuſtande unſeres Unterrichtsweſens ſolche von dieſen Leuten, die doch nur eine ſehr untergeordnete Stellung einnehmen, verlangen kann, iſt nicht gut einzuſehen. Daß durch ein Examen die traurigen Unglücksfälle nicht verhütet werden, beweiſen eben die Locomotiven, die man beſonders als Grund für dieſe Maßregel anführt. Es iſt jedoch nicht zu leugnen, daß, auch ohne Examen, von Seiten der Fabrikbeſitzer viel

Unglück könnte verhütet werden, wenn ſie denen, deren Händen die Dampfmaſchinen anvertraut ſind, einen einſichtsvollen Unterricht ertheilen ließen. W. B.

Keſſelſtein, Waſſer-, Pfannenſtein, Incruſtationen — in der Technik und Haushaltung auch fälſchlich Salpeter — nennt man den Abſatz, der beim Verdampfen des Waſſers als feſte Kruſte in den Gefäßen zurückbleibt. Bei ſeinem Durchgange durch das Erdreich nimmt das Waſſer, unſer allgemeinſtes Auflöſungsmittel, eine große Menge feſter Subſtanzen in ſich auf, die ſich beim Verdampfen der Löſungsmittel wiederum in feſter Form ausſcheiden müſſen. Dieſe Abſätze finden wir daher in allen Gefäßen, die ausſchließlich dazu dienen, um das Waſſer zum Kochen zu bringen, als feſtanhaftende Bekleidung der Wandungen. In den Kochgefäßen der Haushaltung, namentlich den Theekeſſeln ꝛc. ſtellen ſie ſich in geringerem Maße und nur erſt nach längerer Zeit ein, weil hier keine eigentliche Verdampfung des Waſſers, ſondern nur eine Erwärmung deſſelben bis zum Kochen bezweckt wird. In einem ungleich größeren Maße muß dieſe Ausſcheidung in den Dampfkeſſeln vor ſich gehen, weil hier täglich bedeutende Mengen von Waſſer in Dampf verwandelt werden. Je nachdem man ſich zur Speiſung der Dampfkeſſel des Fluß-, Brunnen- oder Meerwaſſers bedient, iſt auch die Menge der Incruſtationen geringer oder größer.

Werfen wir einen Blick auf die im Waſſer aufgelöſten Subſtanzen, ſo können es eben nur die Kalkverbindungen ſein, welche dieſe Incruſtationen veranlaſſen. Johnſon *) unterſuchte mehrere Keſſelſteine und fand ſie der Hauptſache nach aus Gyps ($2\,CaO,\,SO^3 + HO$) beſtehend; bei einigen anderen führt er den kohlenſauren Kalk als bei weitem überwiegenden Beſtandtheil auf, doch zeigt ein ſolcher Abſatz einen viel weniger feſten Zuſammenhang als die erſteren. Bald darauf beſchäftigte ſich auch Couſté **) mit der Unterſuchung der Keſſelſteine. Nach dieſem ſind die Abſätze aus Meerwaſſer frei von kohlenſaurem Kalk, deſſen Abweſenheit durch Chlormagneſium bedingt ſein ſoll, und hierdurch unterſcheiden ſie ſich von den Abſätzen aus heißem Waſſer. Der ſchwefelſaure Kalk bewirkt demnach die Incruſtation allein, indem er ſich durch Kryſtalliſation abſetzt. Endlich lehrte ein Dampfkeſſel, der mit dem an kohlenſauren alkaliſchen Erden reichen Waſſer der neuen Quelle zu Ems geſpeiſt wurde, daß die genannten Verbindungen bei der Bildung des Keſſelſteines nicht die wichtigen Rollen ſpielen, welche man ihnen oft zuſchreibt ***). Dieſelben ſcheiden ſich zwar ab, aber ſie legen ſich nicht rindenartig ab, ſondern laſſen ſich in Geſtalt eines pulverigen Niederſchlages, eines Schlammes, ohne Mühe entleeren. Und daher war der Keſſel, nachdem er die ganze Saiſon hindurch gearbeitet hatte, eben ſo rein wie zuvor, denn bei dem reichen Gehalt des Waſſers an kohlenſaurem Natron konnte der Gyps als ſolcher nicht beſtehen.

Für die Induſtrie, namentlich aber für die überſeeiſche Dampfſchifffahrt, ſind die Keſſelincruſtationen eine wahre Plage. Nicht allein, daß ſie die Urſache abgeben zu entſetzlichen Exploſionen (vergl. den Art. Keſſelexploſionen), ſondern ſie ſind auch aus vielen anderen Gründen ſehr läſtig und koſtſpielig. Je

*) Dingler's polytechn. Journ. Bd. CVII. S. 360.
**) Compt. rend. T. XXXV. p. 186.
***) Journ f. prakt. Chem. Bd. LVIII. S. 66.

dicker die Schichten werden, um ſo mehr ſind ſie der Mittheilung der Wärme entgegen und vermindern daher den Nutzen des aufgewendeten Brennmaterials. Dieſe Verluſte ſind ſehr bedeutend. Couſté giebt ſie bei Maſchinen von niederem und hohem (5 Atmoſphären) Druck auf 40 Proc., bei denen von mittlerem Druck (3 Atm.) auf 47 Proc. und bei Locomotiven auf 22 Proc. der erforderlichen Conſumtion. Weiter bedingen dieſe Abſätze daß die metallenen Keſſelwände eine ſehr hohe Temperatur annehmen, wodurch ſie theils durch Oxydation, theils durch ſtarke Ausdehnung und Zuſammenziehen beträchtlich leiden. Mehr noch iſt dies der Fall beim Entfernen der Inkruſtationen durch Aufwendung einer großen Kraft mittelſt Hammer und Meißel oder in den engen Siederöhren durch Stangen Zu dieſem Zwecke muß der Gang der Maſchine oft unterbrochen werden und neue Verluſte addiren ſich zu dem ſchon angedeuteten Ausfall an Gewinn, weil ja die Arbeit eingeſtellt wird, und Mehraufwand an Brennmaterial, weil Mauerwerk und Keſſel zuvor ſich abkühlen müſſen.

Nach dem Geſagten fällt die Wichtigkeit der Mittel, durch welche die Inkruſtationen verhütet werden, leicht in die Augen. Vorgeſchlagen ſind ſolche Mittel auch in großer Zahl. Im Allgemeinen laſſen ſie ſich in zwei Abtheilungen ordnen: in mechaniſch und chemiſch wirkende. Die erſteren verhindern, zumeiſt durch Zwiſchenlagerung das feſte Anlegen des Gypſes an die Keſſelwände. Seit langer Zeit ſind die Kartoffeln, deren Werth für dieſen Zweck der Zufall gelehrt haben ſoll, in England im Gebrauch als ein den Anſatz des Gypſes verhinderndes Mittel. Der 50ſte Theil des Gewichtes von Speiſewaſſer ſoll ausreichend ſein. Durch die Einwirkung des Waſſers und der Hitze wird die Stärke der Kartoffeln in Dextrin verwandelt, welches das Waſſer ſchleimig macht. Die ſich abſcheidenden Gypstheilchen werden dadurch gleichſam mit einer ſchleimigen Hülle umgeben, und ſo das feſte Anlegen derſelben verhindert. Aehnlich wirkt auch der Thon, auf den zuerſt von Chair in Frankreich aufmerkſam gemacht wurde; Sägeſpäne hat man gleichfalls mit gutem Erfolg in Anwendung gebracht. So günſtige Zeugniſſe die beiden letzten Mittel auch aufzuweiſen haben, ſo hat man doch geglaubt von ihnen ablaſſen zu müſſen, weil die feinen Theile mechaniſch mit fortgeriſſen werden und zu Undichtheiten Veranlaſſung geben; eben ſo ſagt man, daß bei dem Gebrauch der Kartoffeln das Waſſer zu ſtark ſchäume und dadurch die Röhren verſtopfe. Auf den engliſchen Dampfſchiffen ſoll ſich der Gebrauch der Fette ſehr bewährt haben. Man ſetzt entweder dem Waſſer Oel zu oder man überzieht die Wandungen mit Talg oder einem Gemiſch aus Talg und Graphit. Als weitere nur mechaniſch wirkende Mittel ſind Scherben von Glas und irdenen Geſchirren, Metallſtücke oder Kugeln aus harten, in Waſſer unlöslichen Körpern empfohlen worden, die durch das Sieden des Waſſers in Bewegung geſetzt, die Wände und den Boden des Waſſers beſtändig abſcheuern und dadurch das Anſetzen des Gypſes verhüten ſollten. Bei gewiſſen Röhrenkeſſeln iſt dieſe Methode jedoch nicht anzuwenden. Unter den chemiſch wirkenden Mitteln nehmen die, welche ſich Ritterbrandt 1844 patentiren ließ, mit die erſte Stelle ein. Es ſind dies Ammoniakverbindungen, unter denen bei der praktiſchen Verwendung der Salmiak ſeiner Wohlfeilheit wegen den Vorzug verdient. Nicht allein, daß dadurch die Bildung des Abſatzes verhindert wird, ſondern ſelbſt ſchon vorhandener Keſſelſtein wird dadurch nach und nach entfernt. Ritterbrandt geht aber von der falſchen Vorausſetzung aus, daß der Keſſelſtein durch den kohlenſauren Kalk gebildet werde und hiernach be-

ſtimmt er die Menge des Salmiaks, die man dem Waſſer zuſetzen muß. In der Praxis führt man dieſe Beſtimmung auf folgende einfache Weiſe aus: man dampft, je nach dem Gehalt des Waſſers an feſten Beſtandtheilen ein größeres oder geringeres Quantum (vielleicht bis zu 10 Pfund) bei gelinder Wärme in einer Porzellanſchale zur vollſtändigen Trockne ab und wiegt den Rückſtand. Durch verdünnte Salzſäure zieht man das Lösliche aus und wiegt das Zurückbleibende abermals; die Differenz beider Wägungen giebt die Menge des dem Waſſer zuzuſetzenden Salmiaks an. Zur Zerſetzung des kohlenſauren Kalkes reicht dieſe Menge wohl aus, da die Aequivalente beider Verbindungen faſt gleich ſind und durch die Salzſäure auch noch andere Salze gelöſt werden. Aber das Aequivalent des ſchwefelſauren Kalkes iſt bedeutend höher als das des kohlenſauren Kalkes und des Gypſes und daher thut man wohl beſſer dem Waſſer ein Drittel mehr an Salmiak zuzuſetzen, als das Gewicht des in Salzſäure unlöslichen Rückſtandes beträgt.

Da die Vornahmen dergleichen quantitativer Beſtimmungen, wie wir ſie hier vorgeſchrieben haben, ſo wichtig ſie auch erſcheinen, nicht ſehr beliebt ſind, ſo wollen wir hier noch einige allgemeine Angaben machen, mit denen man für gewöhnlich wohl ausreicht. Nach Elsner reicht 1 Th. Salmiak im Allgemeinen für 1200 Th. Brunnenwaſſer hin, um die Bildung des Keſſelſteines zu verhindern oder was daſſelbe iſt 1 Pfund Salmiak auf 20 Kubikfuß Waſſer.

Der Salmiak wirkt dadurch, daß er den Gyps und auch den kohlenſauren Kalk in lösliche Verbindungen (Chlorcalcium) umwandelt; das hierbei entſtehende kohlenſaure Ammoniak aber iſt flüchtig und geht mit den Waſſerdämpfen fort. Dieſen Umſtand muß man ins Auge faſſen, wenn die Dämpfe des Keſſels anderweit verwendet werden, wo das flüchtige Ammoniakſalz Schaden anrichten kann; ſo namentlich in der Färberei. Hier muß man natürlich zu anderen Mitteln ſeine Zuflucht nehmen.

Eines großen Rufes als Mittel gegen den Keſſelſtein genießt auch der Zuckerſyrup. Man kann hier einen ſolchen verwenden, der ſonſt als Verſüßungsmittel nicht gut zu gebrauchen iſt, alſo die geringeren Abfälle der Siedereien. Für den ungenießbaren Runkelrübenzuckerſyrup, der ja in großen Mengen zu haben iſt, wäre dies eine ſehr nützliche Verwendung, unbedingt heilbringender als die, welche er jetzt findet, wo er zur Darſtellung von Branntwein dient. Vorgeſchlagen wurde dieſes Mittel von einem Färber in Lyon, Guinon. Er führt an, daß die Keſſel in ſeiner Fabrik vor der Anwendung dieſes Mittels alle Monate auf eine mühſame Weiſe von dem feſten Abſatz gereinigt werden mußten, wodurch immer eine Unterbrechung der Arbeit von mehreren Tagen herbeigeführt wurde. Seitdem aber das Waſſer auf 25 Eimer einen Zuſatz von 10 Pfund Caſſonade oder Melaſſenzucker erhielt, beſtand die alle zwei Monate ausgeführte Reinigung nur einfach in dem Ablaſſen des Waſſers. Auch Guimet zieht den Zucker als bei weitem wirkſamer entſchieden dem Zuſatz von Kartoffeln vor.

Daß Zucker im Stande iſt Kalk aufzulöſen, iſt ja bekannt; ſeine Anwendung iſt auch darum anzurathen, weil er den Waſſerdämpfen keine irgend wie ſchädlichen Beimengungen liefert.

Auch gerbeſtoffhaltige Subſtanzen verhindern dadurch, daß ſie den Gyps zerſetzen, einen feſten Abſatz. Der gerbſaure Kalk iſt freilich auch löslich, aber er ſetzt ſich nur in Pulverform ab, nicht als feſte Rinde und iſt daher leicht zu ent-

fernen. Von den gerbſtoffhaltigen Subſtanzen hat man folgende bereits in Gebrauch genommen: ſchlechte Sorten Catechu, Gelbholz, Eichenrinde, Galläpfel, Späne von Mahagoniholz; Elsner empfiehlt die Tormentillwurzel, die in Deutſchland wild wächſt und ſehr reich an Gerbeſtoff iſt. Um Beſchädigungen an der Maſchine zu vermeiden, iſt es gut, die genannten Subſtanzen nicht in zerkleinerter Form dem Waſſer zuzuſetzen, ſondern daraus ein Extract zu bereiten. Cové hat hier einen ſehr praktiſchen Vorſchlag gemacht; er hängt eichene Scheite in dem Keſſel ſo auf, daß ſie die Wandungen deſſelben nicht berühren. Auf die Pferdekraft der arbeitenden Maſchine rechnet er 4 bis 6 Pfund, die jeden Monat erſetzt werden. Weder auf den Dampf, noch auf die Maſchine wird durch dieſes, höchſt einfache und billige Mittel irgend ein nachtheiliger Einfluß ausgeübt.

Das Extract von Eichenrinde hat ſich namentlich bei den Locomotivkeſſeln bewährt. Die Verwaltung der Taunusbahn giebt dieſem Mittel nach einem zweijährigen Gebrauch das rühmlichſte Zeugniß. Nicht allein werden dadurch die Abſätze verhindert, ſondern auch alte entfernt. Von den anderen Mitteln wollte ſich keines bewähren, ſie dienten mehr dazu die engen Räume zwiſchen den Röhren zu verunreinigen und zu verſtopfen, ſo daß alle paar Tage die umſtändlichſte Reinigung vorgenommen werden mußte und an ſieben Maſchinen nach kaum vierjähriger Dienſtzeit das Einziehen ganz neuer kupferner Feuerbüchſen oder einzelner Platten derſelben nöthig war, — Reparaturen, die Tauſende von Gulden in Anſpruch nahmen.

In neueſter Zeit machte Freſenius auf das kohlenſaure Natron (Soda) aufmerkſam. Ein durch viele Monate hindurch angeſtellter Verſuch in der bekannten Chininfabrik von Dr. Zimmer in Sachſenhauſen bei Frankfurt a. M. gab ein über alle Erwartung günſtiges Reſultat. Der Keſſel, welcher früher in verhältnißmäßig kurzen Zwiſchenräumen vom Pfannenſtein befreit werden mußte, blieb völlig blank, ja ſelbſt die alten Kruſtenreſte, welche ſo verhärtet waren, daß ſie mechaniſch nicht wegzubringen waren, verſchwanden mit der Zeit völlig. Der Abſatz beſtand in einem zarten Schlamm, der leicht ausgeleert werden konnte. Zudem ſetzte er ſich größtentheils in dem unter dem Dampfkeſſel gelegenen Vorwärmer ab. Durch die Einwirkung des kohlenſauren Natrons auf den Gyps findet eine Zerſetzung der Art ſtatt, daß ſich kohlenſaurer Kalk, der als feines Pulver zu Boden fällt, und lösliches ſchwefelſaures Natron bildet.

Der Zuſatz richtet ſich natürlich nach dem Gehalte des Waſſers an Gyps. Man hat dafür zu ſorgen, daß die Soda ſtets in geringer Menge vorwaltet und daher das Waſſer des Keſſels von Zeit zu Zeit zu prüfen. Am beſten geſchieht dies, daß man eine Probe des dem Dampfkeſſel entnommenen Waſſers, die, falls ſie nicht ganz klar ſein ſollte, filtrirt werden muß, in zwei Theile theilt und die eine Hälfte mit Sodalöſung und die andere mit klarem Kalkwaſſer verſetzt. Bleibt jene klar und wird dieſe mäßig getrübt, ſo iſt das Verhältniß das richtige. Findet aber das Umgekehrte ſtatt, ſo muß Soda zugeſetzt werden. Iſt die Trübung mit Kalkwaſſer ſehr ſtark, ſo iſt die Menge der Soda zu groß; man muß daher von Neuem Waſſer zuſetzen, um das richtige Verhältniß herzuſtellen. Oder man prüft das Waſſer ein für alle Male, da ja doch immer daſſelbe gebraucht wird und kann nach dieſer Probe leicht den Zuſatz berechnen.

Kuhlmann hat dieſes Mittel gleichfalls vorgeſchlagen und ſeine Angaben machen jeden Probeverſuch, dem der Techniker doch nur zu gerne aus dem Wege

geht, überflüſſig. Für die Dauer eines Monats bringt man auf jede Pferdekraft 7 bis 10 Loth Soda in den Keſſel. Man muß ſich jedoch ſehr hüten einen zu großen Ueberſchuß an Soda anzuwenden, weil dadurch ſehr bedeutende Nachtheile entſtehen, indem die Löthungen oder Verkittungen undicht und ſo Störungen der Arbeit herbeigeführt werden können. Dergleichen ſind vorgekommen und dadurch das Mittel in Mißcredit gekommen, während daran doch nur allein die geringe Umſicht, mit der es angewendet worden, Schuld iſt. Ernſtlichere Bedenken haben ſich jedoch von anderer Seite erhoben, und ſo ſehr man auch der Soda das Wort redete, um ſo dringender räth man jetzt von dem Gebrauch derſelben ab. Nach längerem Gebrauch ſtellte ſich heraus, daß die Keſſelwände bedeutend angegriffen werden und Böttger ſchreibt dieſe Zerſtörung einem Gehalt von Cyan zu, der ſich in der im Handel vorkommenden Soda ohne Ausnahme nachweiſen laſſen ſoll. Obgleich nun die Soda die Bildung des Keſſelſteins gänzlich verhindert, ſo iſt Böttger doch der Anſicht, daß man aus dem angegebenen Grunde die Anwendung derſelben unbedingt fallen laſſen muß. Es iſt hier die Frage, ob die Anwendung des kohlenſauren Kalis (der Pottaſche), das ſich gegen Gyps eben ſo verhält wie Soda, nicht räthlicher erſcheint, da bei ſeiner Darſtellung die Bedingungen zur Bildung von Cyan weniger günſtig ſind. Und dann, in Anbetracht der erheblichen Verluſte, die der Keſſelſtein dem Fabrikanten verurſacht, ſcheint ſelbſt dem Gebrauch des reinen kohlenſauren Natrons der Koſtenpunkt nicht entgegen zu ſtehen. Die Frage iſt wichtig genug, um dieſe Punkte in Erwägung zu ziehen.

Außer den angeführten Mitteln ſind noch viele andere empfohlen worden und auch an Geheimmitteln fehlt es nicht. Wir begnügen uns jedoch mit unſerer Auswahl, da deren Werth feſt ſteht. Schon oben haben wir manch günſtiges Zeugniß für das eine oder das andere beigebracht; wir halten es jedoch nicht für unnöthig die Zahl derſelben noch zu vermehren. In erſter Linie ſteht eine Lobrede, welche die Times dem Vorſchlage von Ritterbrandt hielt, nachdem dieſes Mittel ein ganzes Jahr in den Keſſeln der Maſchinen in Anwendung geweſen war, welche die Schnellpreſſen dieſer Weltzeitung treiben und jeden Tag 17 Stunden im Gange ſind. Eben ſo lange war es bei einer Menge von großen und kleinen Dampfbooten, ſtationären Dampfmaſchinen und Locomotiven, alſo in Keſſeln, die mit dem verſchiedenartigſten Waſſer geſpeiſet werden, im Gebrauch geweſen und überall hatte ſich der beſte Erfolg gezeigt, ſo daß die Times hofft, daß endlich den ſchrecklichen Unglücksfällen, verurſacht durch Exploſionen in Folge des Keſſelſteines, über welche ſie genöthigt ſei faſt jede Woche zu berichten, ein ſchützender Damm geſetzt ſei. Von der Society of Arts erhielt Ritterbrandt die goldene Iſis-medaille als Anerkennung; die Société d'Encouragement überreichte an Chair gleichfalls eine goldene Medaille. Die Commiſſion der letzteren, welche die Angaben von Chair zu prüfen hatte, erklärte, daß dieſes Mittel die beſten Garantien gegen die Incruſtationen biete. Dieſer Ausſpruch iſt durch zahlreiche Zeugniſſe von Befehlshabern franzöſiſcher Marine-Dampfboote bewahrheitet worden, eben ſo wie die der engliſchen Flotte ſich ſehr günſtig über den Gebrauch des Oeles oder Salmiaks geäußert haben. Das Journal of Arts berichtet ſogar, daß ein Keſſel bei der Anwendung von Oel ſelbſt nach 17 Jahren noch in einem untadelhaften Zuſtande gefunden worden ſei. Elsner hat die chemiſch wirkenden Mittel beſonders im Kleinen geprüft und ſie ſämmtlich zweckentſprechend gefunden.

Und trotz alledem, ſehen wir uns in der Induſtrie um, ſo hält man allgemein

das Problem der Verhütung des Keſſelſteines für unlösbar. So groß iſt das Vorurtheil, daß man ſelbſt von Verſuchen abſteht und ſie von vorne herein als nutzlos verwirft. Hammer und Meißel ſind die Mittel, welche hauptſächlich in Anwendung kommen und allen nachtheiligen Folgen, die der Keſſelſtein in ſo reichem Maße herbeiführt, unterwirft man ſich geduldig; man ſieht ſie gleichſam als Schickungen einer höheren Macht an, gegen die jeder Kampf nutzlos iſt.

In neueſter Zeit ſoll dieſe für die geſammte Induſtrie ſo höchſt wichtige Frage auf einem anderen Wege gelöſt worden ſein; nämlich durch eine einfache Vorrichtung an dem Keſſel, durch welche eine fortwährende Bewegung des Waſſers erzielt wird. Es ſoll hier die Bildung eines jeden Abſatzes vollſtändig verhindert werden. Dieſe Vorkehrung iſt noch Geheimniß; ſie erfreut ſich von Seiten der Fabrikanten eines großen Beifalls. Aehnliches iſt bereits früher von Technikern angegeben, ohne jedoch eine beifällige Aufnahme zu finden.

Von eigenthümlicher Beſchaffenheit iſt der Abſatz, welcher ſich in den Keſſeln beim Eindampfen des rohen Rohrzuckers bildet. Er wird veranlaßt durch den phosphorſauren Kalk, der ſich beim Klären des rohen Saftes niederſchlägt und ſich ſo feſt an die Wände anſetzt, daß ſelbſt Hammer und Meißel zu ſeiner Entfernung nicht ausreichen. Durch Brennen aber, wie die Zuckerſieder ſagen, wird der Keſſelſtein leicht entfernt. Zu dieſem Ende bringt man ihn einige Secunden lang oder bis ſein Boden dunkelroth glühend zu werden anfängt, über ein heftiges Feuer. Die von dem phosphorſauren Kalk reichlich eingeſchloſſene organiſche Subſtanz (Zucker, Farbſtoff, Rohrtheilchen ꝛc.) verkohlen und nun läßt ſich der Abſatz, indem er in große Platten oder Kruſten zerfällt, leicht ablöſen. Avequin *) hat einen ſolchen Keſſelſtein unterſucht; nachdem die organiſche Subſtanz durch Glühen zerſtört worden war, fand er darin 92,43 Proc. phosphorſauren Kalk.

W. B.

Kette, elektriſche, ſ. Säule, elektriſche (galvaniſche).

Kettengebläſe, ſ. Gebläſe.

Kieſe, ſ. Metalle.

Kieſel, ſ. Silicium.

Kimmungen, ſ. Luftſpiegelungen.

Kitte. Der Kitte bedient man ſich bei vielfachen Gelegenheiten, hauptſächlich um einen dichten Verſchluß herzuſtellen, — ſei es bei chemiſchen Operationen, wo man zwei oder mehrere Apparate mit einander verbindet, ſei es bei Röhrenleitungen im Großen, bei phyſikaliſchen Apparaten oder endlich bei der Aufbewahrung von Subſtanzen — und um zwei Körperflächen mit einander dauernd zu verbinden. Die Mittel, wodurch dieſe verſchiedenen Zwecke erreicht werden, nennt man Kitte. Es ſind Subſtanzen oder Miſchungen, die, im flüſſigen oder weichen Zuſtande angewendet, nach kurzer Zeit erhärten oder feſt werden. Einer Anforderung müſſen alle dieſe Mittel genügen; ſie müſſen ſo beſchaffen ſein, daß ſie ſich leicht an die Oberfläche der verſchiedenen Körper anlegen und ſich mit dieſer innig vereinigen und ihr Zuſammenhang beim Feſtwerden muß der Art ſein, daß ſie der Gewalt, die ſie zu trennen ſtrebt, kräftigen Widerſtand leiſten. Jede An-

*) Journ. de Pharm. Jan. 1841. p. 15; auch Journ. f. prakt. Chem. Bd. XXIV. S. 168.

wendung ſtellt weiter eigene Anforderungen, die bedingt werden durch die Beſchaffenheit der Körper, bei welchen der Kitt angewendet, und durch die Einflüſſe, denen der letztere ausgeſetzt werden ſoll. Daher giebt es ein ganzes Heer von Vorſchriften.

Dem Chemiker muß es Geſetz ſein, jeden Kitt zu vermeiden, ſo lange er den Verſchluß durch einen Kork herbeiführen kann. Sind die Korke von guter Beſchaffenheit, verwendet man auf die Auswahl derſelben und beſonders auf die Anfertigung der Löcher, durch welche die Röhren geführt werden ſollen, Sorgfalt, ſo reicht man für ſehr viele Fälle mit einem Kork aus. Befolgt man die Vorſicht bei jedesmaligem Auseinandernehmen der Apparate die Korke zu lockern und ſie nur ganz loſe aufzuſetzen, ſo können dieſelben Korke ſehr oft wieder benutzt werden. Andernfalls verlieren ſie durch das ſtarke Preſſen ihre Elaſticität; ſie nehmen zwar die Form der Oeffnung an, in der ſie ſtecken, aber ſie ſchließen doch nicht ſo genau an und der über der Oeffnung entſtandene Wulſt verhindert ein weiteres Einſchieben, ſo daß man bei dem wiederholten Gebrauch des Apparates auch faſt immer für einen neuen dichten Verſchluß Sorge tragen muß. In vielen Fällen jedoch kann man ſich dieſes einfachſten Verſchlußmittels nicht bedienen. Sind die Oeffnungen von großen Dimenſionen, ſo findet man ſehr ſelten die entſprechenden Korke frei von Fehlern, die dem luftdichten Verſchluß hinderlich ſind. Oft beſitzen dann auch die Oeffnungen ſelbſt eine unregelmäßige Form, ſo daß man nothwendigerweiſe zu anderen Mitteln ſeine Zuflucht nehmen muß. In ſolchen Fällen greift man gewöhnlich zum Siegellack, der freilich bei höherer Temperatur erweicht, wodurch der Verſchluß leicht undicht werden kann. Gyps und Waſſer machen faſt alle übrigen Mittel entbehrlich.

Bei Operationen im Großen, namentlich bei Deſtillationen muß man gleichfalls zu den Kitten ſeine Zuflucht nehmen, beſonders dann, wenn während des Verlaufes derſelben Undichtheiten, Riſſe ꝛc. entſtanden ſind. Die trefflichen Kühlvorrichtungen, die jetzt allgemein im Gebrauch ſind, machen den Kitt bei Deſtillationen aus Retorten ganz entbehrlich. Bei Benutzung der Kitte iſt Hauptbedingung, daß dieſe nie mit Flüſſigkeiten in Berührung kommen dürfen; oft ſchadet es auch, wenn die Kitte den Dämpfen ausgeſetzt ſind. So iſt das Letztere namentlich bei Anfertigung des deſtillirten Waſſers, das zu chemiſchen Unterſuchungen dienen ſoll, durchaus zu vermeiden und deshalb iſt hier, wie in vielen anderen Fällen, das zweckmäßigſte Mittel thieriſche Blaſe, die feucht angelegt nach dem Trocknen feſt ſitzt.

Ferner bedient man ſich hier beſonders des Roggenmehles oder beſſer, weil billiger, des Leinſamenmehles — des Rückſtandes beim Preſſen des Oeles, — die mit Waſſer, letzteres beſſer mit Kleiſter und etwas Leinöl zu einem ſteifen Brei angerührt werden. Auch des Rückſtandes beim Preſſen des Mandelöles bedient man ſich mit Vortheil. Wirken die Dämpfe heftig ein, ſind ſie ſauer oder ſtark ammoniakaliſch, ſo verwendet man einen Oelkitt aus weißem Bolus, Kreide oder gemahlenem Thon. Gebrannter Gyps mit Waſſer, oder Thon mit Glauberſalzlöſung, oder gebrannter Kalk (10 Th.), Glauberſalz (4 Th.) und Waſſer werden häufig in chemiſchen Fabriken verwendet. Bei Säuren empfiehlt man als beſonders zweckmäßig 1 Th. Kautſchuk in 2 Th. Leinöl bei Anwendung von Wärme aufquellen zu laſſen und daraus mit weißem Bolus einen Teig zu kneten, der Jahre lang aufbewahrt werden kann, ohne auszutrocknen. Von Salpeterſäure wird der

Kitt nur sehr wenig, von Salzsäure fast gar nicht angegriffen; bei höherer Temperatur erweicht er zwar, ohne aber flüssig zu werden. Bei der Bereitung von Kieselflußsäure aber kann man sich desselben nicht bedienen. Uns hat in dem angegebenen Falle Gyps und Wasser als das einfachste Mittel stets die besten Dienste geleistet.

Bei sehr hohen Temperaturen sind Gemische aus gleichen Theilen feingepulvertem und gebranntem und fettem Thon die geeignetsten Mittel, denen man Haare oder zerschnittene Hede ꝛc. beimengt, um Risse beim Trocknen zu vermeiden. Hierher rechnet man auch die Beschläge, d. h. Ueberzüge, mit denen man die Retorten versieht, wenn man Destillationen auf freiem Kohlenfeuer vornehmen will. Wegen der großen Vorzüge, die sich hier gegen die sonst gewöhnliche Benutzung des Sandbades herausstellen, scheint eine allgemeine Anwendung sehr wünschenswerth. Um diese Art der Destillation zugänglicher zu machen, hat Mohr, dessen praktisches Talent hinreichend bekannt ist, die Vorschrift zu einem Beschlage mitgetheilt, der allen Anforderungen entspricht, die man hier gewöhnlich stellt, aber von den sonst gebräuchlichen Mitteln nicht erfüllt wurden. Der Beschlag läßt sich leicht mit einem Pinsel auftragen, haftet fest am Glase und Porzellan und läßt sich mit Wasser abwaschen, ohne zu erweichen. Gleiche Volumen feines Ziegelmehl und Bleiglätte werden mit gekochtem Leinöl zu einem dicklich zähen Brei angestoßen. Hat man den Ueberzug aufgetragen, so bestreut man ihn reichlich mit grobkörnigem Sand. Er erhärtet in wenigen Tagen und wird in einem heißen Trockenofen zu einer steinharten Masse, die sich selbst mit einem Messer schwer entfernen läßt. Weder das Stehen auf dem eisernen Triangel, noch die unmittelbare Berührung der Flamme schadet einem so geschützten Glase, wenn es sonst aus guter Masse besteht. Einen noch billigeren Beschlag erhält man nach Mohr auf folgende Art. Man lösche fetten Kalk mit Wasser zu einem Brei, füge ungefähr ein gleiches Volumen weißen Bolus hinzu, verdünne mit Wasser zu einem dicklichen Brei, den man mit einem Pinsel bis zur gehörigen Dicke aufträgt. Sobald der Ueberzug trocken ist, kann das Gefäß gebraucht werden. Während der Bolus das eigentlich Haftende ist, erhärtet der Kalk durch Aufnahme von Kohlensäure. Letzterer umgiebt den Bolus und verhütet das Abwaschen. Solche Beschläge schützen nicht allein gegen die Einwirkung der Flamme, sondern mehr noch gegen rauhe Behandlung, indem sie jede äußere Gewalt schwächen und vertheilen.

Will man zwei Flächen mit einander vereinigen, so hat man hier einige allgemeine Regeln genau zu befolgen. Die Flächen, welche an einander gefügt werden sollen, müssen genau an einander passen. Daher müssen sie, falls sie bereits gekittet waren, sorgfältig von dem noch anhaftenden Kitte gereinigt werden. Der Kitt muß über die ganze Oberfläche verstrichen werden, und diese stark an einander gepreßt und unveränderlich in dieser Stellung erhalten werden, bis der Kitt erhärtet ist. Durch das Zusammenpressen wird eine große Menge des überflüssigen Kittes entfernt, so daß nur eine dünne Lage davon zurückbleibt. Je dünner diese ist, um so gleichmäßiger trocknet und haftet sie. Das feste Zusammenhalten hängt hauptsächlich ab von der Größe der Fläche, mit welcher der Kitt in Berührung steht. Oft kann man die Festigkeit noch dadurch vermehren, namentlich da, wo der Kitt von der zu verbindenden Masse eingesogen wird, daß man ein feines Gewebe oder feines ungeleimtes Papier zwischen die zu kittenden Flächen

bringt, einzig aus dem Grunde, daß ſie den Kitt in ſich aufnehmen und ſo eine hinreichend große Berührungsfläche herſtellen.

Der Vorſchriften zu ſolchen Miſchungen giebt es ſehr viele und wir verweiſen deswegen auf die zahlreichen Bände des polytechniſchen Journales von Dingler. Alle hier aufzuzählen iſt unnöthig, da ſehr häufig die Vorſchriften ganz dieſelben Subſtanzen enthalten und nur die Gewichtsverhältniſſe verſchieden ſind. Ueberblicken wir die große Zahl dieſer Vorſchriften, um eine Ueberſichtlichkeit in dieſes Chaos zu bringen, ſo können wir bei dieſer Ordnung zwei Wege einſchlagen. Entweder können wir ſie ordnen nach der Art der Verwendung, alſo Kitte für Papier, Holz, Glas, Porzellan, Metalle ꝛc. und da würden der Abtheilungen ziemlich viele werden, oder, wie es Varrentrapp gethan hat, nach den Subſtanzen, die einer großen Reihe von Miſchungen dieſer Art gemeinſchaftlich angehören. Aus dieſem Geſichtspunkte die Kitte betrachtet, können wir ſie in vier große Gruppen theilen: in Leim-, Kalk-, Oel- und Harzkitte.

Die erſte Gruppe der Kitte wird durch ſolche Subſtanzen gebildet, welche ſich entweder in Waſſer auflöſen oder darin zu einer klebenden Maſſe aufquellen. Bei dem Gebrauch verdunſtet das Waſſer und die darin gelöſte Subſtanz bleibt im feſten Zuſtande zurück, wodurch die gewünſchte Bindung erreicht wird. Als Grundlage dieſer Kitte dient Gummi, Stärke oder Leim. Das erſtere iſt trotz ſeinem theuern Preiſe doch nicht das vorzüglichſte Bindemittel. Erhebliche Nachtheile ſind hier, daß die Löſungen beim Aufbewahren ziemlich leicht verderben, obſchon hier ein Zuſatz von Weingeiſt das Schimmeln einigermaßen aufhält; daß ſie beim Trocknen ſich ſtark zuſammenziehen, daher von der Oberfläche ſich losreißen und nur eine ſchlechte Bindung bewirken und dann, daß ſie der auflöſenden Kraft des Waſſers einen ſo geringen Widerſtand entgegenſtellen. Mehr im Gebrauch iſt daher der Kleiſter aus Stärke oder Mehl. Namentlich Roggenmehl, wegen des darin enthaltenen Klebers bindet ſtärker, freilich beſitzt dieſer Kleiſter dafür auch eine mehr graue Farbe, die ſeiner Anwendung mitunter im Wege ſteht; auch iſt er in der Wärme leichter dem Verderben ausgeſetzt als der Stärkekleiſter. Ein Zuſatz von Alaun ſchützt bei erſterem nicht vollſtändig, beſſer bei letzterem. Stärker bindend macht man den Kleiſter durch Zuſatz des halben Gewichtes der Stärke an Terpentin, den man dem heißen Kleiſter zuſetzt und durch tüchtiges Umrühren damit miſcht, oder durch Anrühren mit ſehr verdünnter Leimlöſung. Mit einer Miſchung aus Leim und Mehl klebt man einzelne Bogen Papier zu ganzen Lagen zuſammen, die dann gehobelt, geſägt, genagelt ꝛc. werden können. Man verfertigt daraus verſchiedene Gegenſtände, die Berühmtheit erlangt haben, weil ſie leichter und lackirt weit dauerhafter als ähnliche Arten aus Holz ſind. Auch eine Miſchung von Mehl und Eiweiß dient zum Kitten.

Der genannten Mittel bedient man ſich vorzüglich bei den verſchiedenen Papieren, beim Holz wendet man hauptſächlich Leim an. Ein guter Leim darf im trockenen Zuſtande nicht beſonders Feuchtigkeit aus der Luft anziehen; in kaltem Waſſer muß er viel davon in ſich aufnehmen, daher zwar ſtark aufquellen, aber durchaus nicht aus einander gehen, ſich zertheilen oder gar in beträchtlicher Menge auflöſen. Ein guter Leim nimmt nach Varrentrapp oft in 24 Stunden das 7 bis 8fache ſeines Gewichtes Waſſer auf, ohne dadurch ſeinen Zuſammenhang zu verlieren. Ein Hauptübelſtand beim Leime iſt der, daß er beim Erkalten gelatinirt und in dieſem Zuſtande nicht als Bindemittel benutzt werden kann. Um

das läſtige Erwärmen zu vermeiden, hat Dumoulins eine Vorſchrift gegeben zur Bereitung eines Leimes, der ſtets flüſſig bleibt. Man überſchüttet 10 Th. guten Leim mit einem gleichen Gewicht kalten Waſſers und läßt das Ganze etwa 12 Stunden ſtehen, bis ſich der Leim in eine Gallerte verwandelt hat, die man im Waſſerbade erwärmt. Man ſetzt nun nach und nach unter Umrühren 2 Th. Salpeterſäure von 36° Baumé hinzu. Böttger ſagt von dieſem flüſſigen Leim, daß er nach einem Jahre weder ſchimmelte, noch an Bindekraft verloren hatte. Er empfiehlt ihn als Lutum und Klebmittel und ſelbſt zur Befeſtigung von Tapeten ꝛc. Schon früher hat Kühne eine Vorſchrift zu einem Leime gegeben, der gleichfalls kalt zur Anwendung kommt. Mit einem Theil eines Gemiſches aus 12 Loth Kornbranntwein und 12 Loth Waſſer rührt man 4 Loth Stärke und 6 Loth Schlämmkreide zu einem dicken Brei an; dann löſt man 2 Loth guten Leim in Waſſer, rührt 2 Loth dicken Terpentin hinein und ſetzt nun den Reſt des obigen Gemiſches aus Kornbranntwein und Waſſer hinzu. Zuletzt miſcht man beide Miſchungen in der Wärme zuſammen. Dieſer ſehr billige Kitt wird von dem Verein zur Beförderung des Gewerbefleißes in Preußen beſonders empfohlen.

Um auch den erkalteten Leim leichter auflöslich zu machen, ſetzt man der Auflöſung ein dem dazu verwendeten Leim gleiches Gewicht Zucker zu. Ein ſolches Gemiſch iſt der Mundleim, zu dem man die reinſten Leimſorten benutzt. Ein einfaches Befeuchten reicht aus, um ihn klebend zu machen. Der Zuſatz von Zucker giebt dem Leim noch eine andere ſchätzbare Eigenſchaft, eine bedeutende Elaſticität, wodurch er zu verſchiedenen Anwendungen geſchickt wird. So verfertigen die Buchdrucker aus einer Miſchung von Leim und Syrup die Walzen, mit denen ſie die Farbe auf die Lettern auftragen. Da der Syrup eine bedeutende Menge Waſſer enthält, ſo muß dies bei der Leimlöſung in Abzug gebracht werden, d. h. dieſe muß ziemlich concentrirt angefertigt werden. Beſtimmte Vorſchriften laſſen ſich hier nicht geben, da die Verhältniſſe von zu vielen veränderlichen Umſtänden abhängen. Nicht allein die Materialien der Miſchung, ſondern auch die Beſchaffenheit der Farbe, ob dieſe mehr oder minder zähe und dann ganz beſonders das Local, in welchem gearbeitet wird, je nach ſeiner mehr oder minder bedeutenden Feuchtigkeit, üben darauf einen bedeutenden Einfluß und daher ſind die Verhältniſſe dieſes Gemiſches ſehr ſchwankend. Während in einer Werkſtatt gleiche Gewichte von Leim und Syrup eine brauchbare Miſchung geben, muß man in einer anderen das Gewicht des Syrups vermehren, ſelbſt bis aufs Dreifache.

Die bekannten kleinen Geſichtsmasken und Thierchen, welche, wenn man ſie drückt, ſo wunderliche Grimaſſen machen, ſind aus einer ähnlichen Maſſe angefertigt und nicht wie man gewöhnlich glaubt, aus Gutta-Percha.

Soll der Leim der Einwirkung der Feuchtigkeit mehr Widerſtand leiſten, ſo ſetzt man $^1/_8$ — $^1/_6$ ſeines Volumens Terpentinöl hinzu. Eine ſolche Miſchung eignet ſich beſonders um Glas auf Holz oder Metalle zu befeſtigen. Ganz beſonders iſt hier eine von Dove angegebene Miſchung zu empfehlen, die ſich bei den damit angeſtellten Proben ſehr bewährt hat. Der concentrirten Auflöſung von 8 Loth Leim ſetzt man $4^1/_2$ Loth Leinölfirniß zu und kocht das Gemiſch noch 2 bis 3 Minuten unter fortwährendem Umrühren. Ein Gefäß, welches damit waſſerdicht gemacht worden war, ließ ſelbſt das Waſſer nicht durch, nachdem es vier Wochen für ſich der Wärme ausgeſetzt worden, wodurch die Reife ſehr locker wurden und der Boden anfing, in der einen Fuge auswendig ſich aus einander zu

Digitized by Google

ſpalten. Daſſelbe Experiment von weiteren vier Wochen übte gleichfalls keine nachtheilige Wirkung auf die Haltbarkeit des Kittes aus. Mit der noch heißen Miſchung leimt man die Dauben der Gefäße zuſammen, die man vor dem Zerlechzen ſchützen will.

Kommt es darauf an, daß die Farbe des Leimes heller ſei oder ſoll dieſer noch mehr bindend ſein, ſo bedient man ſich der Hauſenblaſe, die ſich beſſer in ſchwachem Branntwein auflöſt als in Waſſer. Namentlich zum Kitten von zerbrochenen Glas- und Porzellanwaaren wird Hauſenblaſe viel gebraucht. Folgende Miſchung, die unter dem Namen Diamantleim bekannt iſt, weil im Orient die Edelſteine dadurch befeſtigt werden, leiſtet hier ſehr gute Dienſte. 4 Theile Hauſenblaſe, die vorher tüchtig geklopft und in feine Stücke geſchnitten worden iſt, läßt man in ſchwachem Spiritus aufquellen, dann thut man dieſe Löſung unter fortwährendem Rühren in einer Reibeſchale nach und nach zu $^1/_2$ Th. Gummi Galbanum und $^1/_2$ Th. Gummi Ammonikum, die damit ganz fein gerieben werden. Vorher hat man 2 Th. Maſtix in ſehr wenig Spiritus gelöſt, welche Löſung dann mit der vorigen gemiſcht und Alles gut unter einander gerührt wird. Um dieſen Kitt vor dem Verderben zu ſchützen, bewahrt man ihn in einem weithalſigen Glaſe auf. Nach dem Erkalten erſtarrt der Kitt, es genügt aber warmes Waſſer, in welches man das Glas ſtellt, um ihn wieder flüſſig und zum Gebrauch geſchickt zu machen. Sachen, die mit Diamantleim gekittet ſind, können ſelbſt in warmem Waſſer abgewaſchen werden, freilich zu lange dürfen ſie darin nicht verweilen.

Häufig bedient man ſich des Leimes auch um Spalten und Riſſe auszufüllen. Da muß er aber, wie man ſich ausdrückt, mehr Körper haben und dies erreicht man durch Zumiſchen von feinzertheilten feſten Körpern, wie Kreide, Gyps, Kalk, Sägeſpänen ꝛc. Aus ſolchen Miſchungen fertigt man auch verſchiedene Verzierungen, ſo wie alle die kleinen Figuren an. Oder man tränkt auch Werg mit einer Leimlöſung, der man Leinölfirniß oder Terpentin zugeſetzt hat.

Aus der zweiten Gruppe, den Kalkkitten, findet der gewöhnliche Kalkmörtel (vergl. Bd. I. S. 920), der ja eben als Bindemittel für die Steine und zum Dichten der Fugen dient, die allgemeinſte Verwendung. Eine größere Feſtigkeit erreicht man durch den hydrauliſchen Kalk (Waſſermörtel, vergl. Bd. I. S. 920). Die Vorzüge der Cemente finden täglich mehr Anerkennung und Verwendung. Man benutzt ſie zum Trockenlegen von naſſen Wänden und Fußböden, zum Bauen und Dichten der Tröge oder ſonſtiger Waſſerbehälter, wie z. B. Baſſins, bei Abtritten, Kanalbauten, kurz überall, wo Undurchdringlichkeit für Waſſer erforderlich iſt.

Bei Fügung der Tafeln, zur Dielung der Wohnzimmer bedient man ſich häufig ſtatt des Leimes einer Miſchung aus Käſe oder Quark mit Kalk, die ungeachtet der öfteren Reinigung der Zimmer ſelbſt mit heißem Waſſer, weit feſter hält als der gewöhnliche Leim. Nimmt man hierzu alten Käſe, ſo weicht man ihn erſt in heißem Waſſer auf. Oft werden auch Zuſchläge von feinem Sand oder Ziegelmehl beliebt. Da dieſe Maſſen bald erhärten, ſo darf man ſie nur in kleinen Mengen anfertigen und muß ſie bald verarbeiten. Dieſe Kitte ſind ſehr gut bei zerbrochenen Glas- und Porzellangeräthen zu verwenden. Zu gleichem Zwecke dient eine Miſchung von Kalk und Eiweiß oder Leimwaſſer. Das Eiweiß kann auch durch friſches Blutwaſſer erſetzt werden, das ja gleichfalls eiweißhaltig iſt. Häufig verſtreicht man bei Bauten die Fugen zwiſchen Steinen und Holzwerk vor

dem Farbenanſtrich mit einer Miſchung aus Kalk, Ziegelmehl, Steinkohlenmaſſe, Hammerſchlag, Sand und Blutwaſſer.

Eines Kalkkittes, beſtehend aus einem Theil gelöſchten Kalk und drei Theilen gepulvertem Marmor mit Waſſer und Eiweiß zuſammengerieben, bedienten ſich auch die alten Römer bei der Anfertigung der Moſaikgemälde, um die verſchieden gefärbten Glaspaſten unter einander zu verbinden. Der Kitt erhärtet aber ſo ſchnell, daß der Arbeiter kaum Zeit hat, die Glaspaſten einzudrücken; durch Feuchtigkeit verdirbt er ſehr ſchnell und daher hat man ihn in neuerer Zeit durch einen Oelkitt erſetzt. Die Verhältniſſe ſind dieſelben, nur nimmt man ſtatt des Marmors Travertino — Kalktuff neuerer Bildung: — als Bindemittel dient Leinöl. Die Maſſe bleibt etwa drei Wochen bildſam. Dieſer moderne Kitt iſt gelb, der antike aber weiß; darin hat man alſo ein Mittel die antiken Moſaikarbeiten von denen der Neuzeit zu unterſcheiden.

Kommt es bei dem Kitt auf keinen feſten Zuſammenhang an, ſo iſt der gebrannte Gyps wegen ſeiner Eigenſchaft Waſſer in ſich aufzunehmen und dadurch zu erhärten in vielen Fällen mit Nutzen anzuwenden. Der Brei muß ſo dünn angerührt werden, daß er ſich gießen läßt; in dieſem Zuſtande dringt er leicht in alle Vertiefungen. Um das Entſtehen von Riſſen beim Trocknen zu verhindern, dient ein Zuſatz von pulverförmigen Subſtanzen (Torfaſche, Sand ꝛc.). Mehr Zuſammenhang erzielt man, wenn man ſtatt des Waſſers zum Anmachen Löſungen von Alaun, ſchwefelſaurem oder weinſaurem Kali verwendet, beſonders aber, wenn man den gebrannten Gyps in Stücken mit Alaunlöſung tränkt und ihn nach dem Trocknen abermals brennt. Ein ſolcher Kitt wird ſo hart wie Stein; je größer aber der Zuſammenhang iſt, um ſo weniger ſchnell tritt das Erhärten ein. Soll die Kittung eine höhere Temperatur erhalten, ſo rührt man den Gyps mit Eiweiß an, wodurch man gleichfalls mehr Feſtigkeit erzielt.

Die zahlreichſten Recepte liefert die dritte Gruppe, deren gemeinſchaftliches Bindemittel trocknende Oele (Lein-, Hanf- oder Mohnöl) oder Firniſſe abgeben. Die Grundlagen dieſer Kitte ſind minder mannichfaltig, nur die Gewichtsverhältniſſe, in denen die verſchiedenen Beſtandtheile gemiſcht werden, machen die Zahl ſo außerordentlich groß. Je nach den Zwecken, zu denen man dieſe Kitte verwendet, nennt man ſie auch Stein- oder Metallkitte. Als Körper dienen hier hauptſächlich Bleipräparate (Bleiglätte, Mennige, Bleiweiß). Da ſolche aber theuer ſind, ſo ſucht man die Gewichtsmenge zu verringern und bedient ſich dann anderer pulverförmiger Körper, wie Sand, Glaspulver, Ziegelmehl, Kreide, Kalk, Gyps, Braunſtein, Pfeifenthon, um die Maſſe zu vermehren. Aus demſelben Grunde iſt auch hier das Zinkoxyd als Rival gegen die Bleiverbindungen aufgetreten, weil ein gleiches Gewicht ein ungleich größeres Volumen einnimmt. Man hat hier zugleich den Vortheil eines ſchnelleren Trocknens und überall da, wo der Kitt nicht einer Hitze von über 80° R. ausgeſetzt iſt, kann man ſtatt des Oeles Waſſer nehmen. Im letzteren Falle müſſen die zu verkittenden Stücke ſogleich vereinigt werden, weil der Waſſerkitt außerordentlich ſchnell erhärtet. In der Regel nimmt man ein Viertel des Gewichtes des flüſſigen Bindemittels an Bleipräparaten, bei großen Mengen, wenn gerade nicht eine beſondere Feſtigkeit gefordert wird, noch weniger und giebt der Maſſe die gehörige Conſiſtenz durch die aufgeführten billigeren Zuſchläge. In Bezug auf das Feſtwerden haben die genannten Bleiverbindungen nicht gleichen Werth; Bleiweiß bewirkt das Trocknen

nur sehr langsam, Mennige am schnellsten und besser noch, wenn die Mischung von den Zusätzen enthält. Handelt es sich um Hervorbringung eines dampfdichten Verschlusses, so kommt man statt der Bleipräparate mit Mehl und Kreide eben so gut zum Ziele.

Im Allgemeinen kann man die Oelkitte längere Zeit unter Wasser aufbewahren, wodurch sie vor dem Austrocknen geschützt werden. Mit der Zeit tritt aber doch eine gewisse Härte ein, die dadurch beseitigt wird, daß man die Masse noch einmal anstößt und dabei etwas Oel hinzu thut.

Die Oelkitte kommen hauptsächlich in Anwendung, um Dichtungen bei mancherlei technischen Maschinen und Einrichtungen, wie Röhrenleitungen ꝛc. herzustellen. Aber auch hier sucht man jetzt schon die Schmiererei, wo es sich thun läßt, ganz zu vermeiden. In einigen Fällen stellt man einen dampfdichten Verschluß ohne alle Zwischenmittel durch zwei gerade oder konisch abgedrehte und auf einander geschliffene Flächen, die durch Schrauben zusammengehalten werden, her. In anderen reicht das Zwischenlegen elastischer Körper, namentlich Scheiben von Leder, Pappe, geschwefeltem Kautschuk aus für einen dampf- und wasserdichten Verschluß. Leder wird jedoch in der Hitze leicht hart und dadurch unbrauchbar. Vorzüglich bei Röhren oder Cylindern legt man auf die zusammenstoßenden, genau abgeschliffenen Flächen einige Windungen Kupferdraht und verschraubt dann auf gewöhnliche Art. Dieses System der Dichtung hat sich in der Praxis schon Beifall erworben.

Besondere Erwähnung verdient noch ein Steinkitt, der in der Technik den Namen Mastix oder Mastixcement führt. Die Composition desselben wird verschieden angegeben. Paget empfiehlt folgende: $31\frac{1}{2}$ Pfund feiner Sand, $10\frac{1}{2}$ Pfd. Schlemmkreide, $2\frac{1}{2}$ Pfd. Bleiweiß und 1 Pfd. Mennige werden mit Bleizuckerlösung befeuchtet und mit 3 Pfd. Oel oder Firniß zu einer Masse verarbeitet. Nach Varrentrapp ist die Zusammensetzung folgende: 35 Th. Sand, 62 Th. Kalkpulver, 3 Th. Bleiglätte und 7 bis 10 Th. Leinölfirniß. Diese Mischungen erlangen in kurzer Zeit, nach einigen Wochen, eine solche Härte, daß sie am Stahle Funken geben. Sie können dazu dienen bei behauenen Steinen beschädigte oder fehlende Theile zu ergänzen. Doch müssen die Flächen, auf welche man den Kitt aufträgt, vorher abgetrocknet und eingeölt werden. Man vereinigt damit Steinplatten zu Wasserbehältern; auch dient er als Vereinigungsmittel von Steinplatten, mit denen man Terrassen oder frei liegende Treppen belegt. Unter diesen Umständen thut man gut die Menge der Bleiglätte bis zum Vierfachen zu vermehren.

Aber nicht allein als Kitt ist der Mastix im Gebrauch, sondern man fertigt daraus Abdrücke und formt allerlei Gegenstände, wie Statuen, Basreliefs, Karnieße, Capitäler, überhaupt Verzierungen der mannigfaltigsten Art, wobei man der Masse auch allerlei Farben zusetzt, deren Verhalten man freilich genau kennen muß, indem danach Abänderungen der Grundmasse vorzunehmen sind.

Mohr empfiehlt eine Mischung aus gleichen Volumen Bleiweiß und Kreide oder Gyps, die zum feinsten Pulver gerieben und mit gekochtem Leinöl vereinigt werden, als einen ganz besonders brauchbaren Kitt, der sich bewährte, wo alle übrigen nicht dem Zwecke entsprachen. Die gekitteten Gegenstände klingen wie aus einem Stück bestehend. Je reiner die Bruchflächen und je dünner die Kitt-

ſchicht, deſto beſſer iſt das Zuſammenhalten. Dies iſt übrigens eine Regel von allgemeiner Geltung.

Die Harzkitte theilen mit den Oelkitten die Eigenſchaft, dem Waſſer vollſtändig zu widerſtehen; der Vortheil des ſchnelleren Feſtwerdens, den ſie vor letzteren vorausbaben, wird durch andere Nachtheile wieder aufgehoben. So iſt ihr Gebrauch nur erlaubt bei Gegenſtänden, die keiner hohen Temperatur ausgeſetzt werden, dann werden ſie ſehr leicht riſſig und theils durch das Verdampfen oder Verharzen des in ihnen enthaltenen ätheriſchen Oeles ſo ſpröde, daß ſie ſelbſt nicht die geringſte Reibung oder Stoß aushalten. Dies gilt jedoch weniger von dem Kitten zerbrochener Gegenſtände, als von den Dichtungen, wo der Kitt in größerer Menge verwendet wird. Zu erſterem Zweck benutzt man die Harze, namentlich die farbloſen ſehr viel. Um ihnen die Sprödigkeit zu nehmen, ſchmilzt man ſie mit Terpentin, Wachs, Talg, am beſten mit wenig Leinölfirniß zuſammen. Am meiſten im Gebrauch iſt der Schellack, der jedoch nicht frei iſt von ziemlich bedeutenden Mängeln. Dahin ſind zu rechnen die große Sprödigkeit und das ſtarke Zuſammenziehen beim Erkalten. Dem erſteren Uebelſtande kann man freilich durch die eben genannten Mittel abhelfen, aber die Schmelzung erfordert große Vorſicht. Die Temperatur muß hierbei ziemlich hoch ſein und wird ſie überſchritten, ſo iſt die Miſchung nicht zu brauchen. Gegen das zweite iſt ein Zuſatz feiner Pulver ſehr gut und daher guter Siegellack beſſer.

Löſungen der Harze in Alkohol ſind ganz zu verwerfen, weil von dem Alkohol zu wenig gelöſt wird und nach dem Verflüchtigen deſſelben der Kitt zu ſpröde iſt. Schellacklöſung allein macht hier eine Ausnahme; die Feſtigkeit ſoll bedeutend erhöht werden, namentlich bei Holz, wenn man zwiſchen die zu verbindenden Flächen ein Stück Flor oder dünnes Seidenzeug bringt. Ein ungleich beſſeres Löſungsmittel iſt der Schwefelkohlenſtoff, der von vielen Harzen (Maſtix, Gummilack, geſchmolzenem Bernſtein) ſein gleiches Gewicht aufnimmt, ſchnell verdampft und die Harze unverändert zurückläßt. Seiner allgemeinen Verwendung ſtand bislang der hohe Preis entgegen; doch jetzt iſt dieſer ein ſolcher, daß er in vielen Fällen den Gebrauch des Schellacks in der Technik wohl zuläßt. Bei beſonderen Zwecken — zum Ausfüllen hohler Zähne — bedient man ſich des Aethers als Löſungsmittel (für Maſtix, Sandarak). Man tränkt mit dem Kitt loſe Baumwolle und füllt ſo die hohlen Räume aus, wobei das Löſungsmittel ſehr ſchnell verdampft.

Vielfältig ſind die Harze im Gebrauch, um bei Flaſchen oder anderen Geräthen, die zur Aufbewahrung von Flüſſigkeiten, naturhiſtoriſchen Gegenſtänden ꝛc. dienen, und keinen großen Widerſtand zu leiſten haben, einen dichten Verſchluß herzuſtellen. Durch die angegebenen Mittel wird die Sprödigkeit gemildert und der Maſſe durch Beimiſchen pulverförmiger, gefärbter Körper auf leichte Art jede gewünſchte Farbe ertheilt. Beim Zuſammenſchmelzen, beſonders über Flammfeuer, iſt große Vorſicht anzurathen, da das Gemenge leicht in Brand gerathen kann. Die Gefäße müſſen entweder ſo beſchaffen ſein, daß man ſie ſchnell, ohne ſich zu beſchädigen, vom Feuer entfernen kann, oder man muß einen genau ſchließenden Deckel zur Hand haben, um durch Auflegen deſſelben den Brand ſogleich erſticken zu können. Zu dieſen Zwecken dienen die billigeren Harze — das gewöhnliche weiße Harz, Galipot, Kolophonium, Schiffspech, Asphalt, — ſo wie überall da, wo Harzkitte in größeren Mengen verbraucht werden, wie z. B. beim Dichten der

Fugen von Waſſerbehältern, Terraſſen ꝛc. Um hier das Springen und Reißen zu verhindern und auch um die Maſſe zu vermehren, macht man in dieſen Fällen Zuſätze von Kalk, Gyps, Ziegelmehl, Sand. Statt der Harze nimmt man auch wohl Theer, ſei es Steinkohlen- oder Holztheer, auch wohl ein Gemiſch beider, die mit gelöſchtem Kalk bis zur hinreichenden Dicke gekocht werden. Durch einen Zuſatz von $^1/_8$ des Gewichtes Schwefel ertheilt man der Maſſe eine ungemeine Feſtigkeit, deren Sprödigkeit aber durch $^1/_{16}$ oder $^1/_{32}$ Leinölfirniß gemildert werden muß. Der Schwefelzuſatz macht den Harzkitt ſelbſt brauchbar für die Wiederherſtellung zerbrochener Steingut- und Porcellangefäße.

Einen vortrefflichen Kitt liefert eine Auflöſung von Kautſchuk in Harz-, Steinkohlen- oder Steinöl, der man, wenn der Kitt feſt ſein ſoll, das Doppelte an Aſphalt oder Gummilack, oder beiden zugleich zuſetzt. Mitunter kann der Gummilack auch durch Aſphalt, Pech, Harz erſetzt werden. Das Flüſſigmachen des feſten Kittes hat große Schwierigkeiten, aus demſelben Grunde wie beim Schellack. Man erhitzt daher zuerſt im Waſſerbade; iſt die Maſſe hier gehörig erweicht, ſo kann man auf freiem Feuer das Schmelzen beenden, ohne ein Verbrennen befürchten zu müſſen. Hier ſind die oben angedeuteten Vorſichtsmaßregeln gleichfalls nicht zu verabſäumen. Der Kitt muß dünnflüſſig werden, weil er ſonſt nicht gehörig eindringt und feſthält. Er haftet auf Glas, Schiefer, Holz und Metall und leiſtet vortreffliche Dienſte beim Schiffbau. Er dient ferner dazu, um Gewebe, die der Einwirkung des Waſſers ausgeſetzt ſind, auf- und aneinander, ſo wie Leder auf Leder, Holz oder Metall ꝛc. zu befeſtigen. Seiner vielen vortrefflichen Eigenſchaften wegen machte er bei ſeinem erſten Auftreten unter dem Namen Jeffery's Marineleim großes Aufſehen.

Bei der Vereinigung oder Dichtung gewiſſer Subſtanzen kommen eigene Mittel in Anwendung. So z. B. beim Eiſen. Heuſinger empfiehlt folgende Miſchung für das Zuſammenkitten von Eiſen ſowohl im Feuer als auch im Freien. 100 Th. roſtfreie Eiſenfeile, Bohr- oder Drehſpäne und 1 Th. Salmiakpulver werden mit Urin angefeuchtet. Das Gemenge bringt man in die Fugen und ſtemmt es mit Hammer und Meißel ſo feſt als möglich ein, wobei der Kitt ganz weich wird. Die Eiſentheilchen fangen aber ſehr bald zu roſten an und dadurch wird die Maſſe, die ſich an die Eiſenflächen ungemein feſt anſetzt, hart wie Stein. Die Flächen müſſen aber durchaus frei von Roſt ſein. Die geringſte Spur von Fett iſt gleichfalls zu vermeiden. Man kann dieſen Kitt in einem eiſernen Topf, feſt eingeſtampft, unter Waſſer lange aufbewahren. Beim Gebrauch ſetzt man ſo viel Eiſenfeilſpäne zu, bis die Maſſe die geeignete Conſiſtenz beſitzt. Nach einer Mittheilung des Hannöverſchen Gewerbevereines bewährt ſich folgende Vorſchrift ſehr gut. Man hält ein Gemenge von 16 Th. Eiſenfeilſpänen, 2 Th. Salmiak und 1 Th. Schwefelblumen vorräthig. Beim Gebrauch vermengt man 1 Th. deſſelben mit 20 Th. Eiſenfeilſpänen und befeuchtet das Ganze mit $^7/_8$ Th. Waſſer und $^1/_8$ Th. Eſſig. Die Eiſenkitte benutzt man hauptſächlich zum Befeſtigen der Boden von Dampfcylindern bei ſtehenden Maſchinen; zum Dichten der Verbindungen und Fugen von gußeiſernen Dampf- und Waſſerleitungen, von eiſernen Waſſerreſervoirs ꝛc. Sollen die gekitteten Theile Glühhitze aushalten, ſo miſcht man 4 Th. Feilſpäne mit 2 Th. Thon und 1 Th. gepulverten Porcellankapſeln und ſtößt das Ganze mit Salzwaſſer zu einem Teige an, der gleichfalls in die Fugen eingepreßt wird.

Will man Eiſen dauerhaft in Stein einkitten, ſo mengt man 7 Th. Gyps,

1 Th. Eisenfeilspäne bei und stellt mit Wasser die steife Masse her. Die Arbeit muß aber sehr schnell von der Hand gehen, weil dieser Kitt äußerst schnell erhärtet. Bei weißen Steinen muß man die Feilspäne fortlassen, weil sie rosten und dann die reine Farbe des Steines verunziert wird. Man nimmt dann zum Anmachen des Gypses 3 Th. Eiweiß und 1 Th. Wasser, welche Mischung freilich nur sehr langsam ganz erhärtet. Kitte zu gleichem Zweck, die man gewöhnlich auch Rostkitte nennt, bereitet man auch aus Feilspänen und Essig oder verdünnter Schwefelsäure; man setzt auch Eisenvitriol hinzu. In gleichem Maße sind sie auch geeignet Steine mit einander zu verbinden. Beim Zusammenfügen von Ofenplatten macht man noch Zusätze von Torfasche, Thon, Gyps, Salz. Diese Gemenge geben aber zu Auswitterungen Veranlassung, wodurch der Graphitüberzug zerstört wird. Mehr zweckentsprechend sind hier fetter Thon mit der Hälfte gebranntem und fein gepulvertem Thon gemischt. Ein sehr dünnes Auftragen erhöht auch hier die Festigkeit ungemein.

Pettenkofer empfiehlt *) Kupferamalgam als luftdichtes Verschließungsmittel, in Fällen, wo man bei Maschinerien und chemischen Apparaten Kork, Glas, Kautschuk, Kitt ꝛc. nicht gut gebrauchen kann. Trotz der vortrefflichen Eigenschaften des Amalgames wird die Verwendung des hohen Preises wegen doch nur eine sehr beschränkte sein können, wenn schon man sich dasselbe selbst wird billiger herstellen können, als es im Handel zu haben ist. In Paris kosten 4 bis 5 Grm. 2 Francs. Liebig's Vorschrift für die Bereitung dieses Amalgames ist weniger umständlich, als die von Pettenkofer angegebene. Man benetzt fein zertheiltes, durch Eisen aus Kupfervitriollösung niedergeschlagenes Kupfer in einem Porcellanmörser mit salpetersaurem Quecksilberoxydul, gießt dann kochendes Wasser darüber, setzt metallisches Quecksilber hinzu, und reibt das Ganze anhaltend zusammen. Im Anfang ist die Masse bröcklich, sie wird aber bald weich und nimmt, wenn die gehörige Menge Quecksilber incorporirt ist, die gewünschte salbenartige Consistenz an. Je nach dem Gehalt an Quecksilber erhärtet es früher oder später und zwar erfordert dieser Vorgang beim ersten Male viel mehr Zeit, als wenn es nach dem Erhärten wiederum durch Kneten erweicht worden ist. W. B.

Klang, s. Schall.

Klangfiguren, s. Schall.

Kleist'sche Flasche, s. Flasche, elektrische.

Klima (lat. clima; franz. climat; engl. climate; von dem griech. κλίνω, ich neige). Die Länge des Tages ist bekanntlich unter den verschiedenen Parallelkreisen verschieden und die Temperatur nimmt von dem Aequator nach den Polen zu ab; beide, Temperatur und Tageslänge, leiteten die älteren Geographen **) von der Neigung der Oberfläche der Erde gegen die Sonne ab und unterschieden so zwischen Aequator und Polarkreis 24 durch Tageslänge und mittlere Temperatur von einander abweichende Klimata. Hiernach sind die Klimata Erdgürtel.

Als erstes Klima nahmen sie das des Aequators an, wo der Tag das ganze Jahr hindurch 12 Stunden beträgt. Jedes folgende Klima beginnt da, wo der

*) Liebig's Ann. Bd. LXX. S. 344.
**) Ptolomaeus, Geogr. lib. I. cap. 8.

längſte Tag des Jahres um $^1/_2$ Stunde länger wird. Am Polarkreiſe beträgt der längſte Tag 24 Stunden, woraus ſich dann bis zu dieſem Kreiſe vom Aequator ab die Anzahl von 24 Klimaten ergiebt. Bekanntlich nimmt zwiſchen dem Polarkreiſe und dem Pole die Länge des Tages ſehr ſchnell zu. Einen Grad über den Polarkreis hinaus beträgt die Länge des längſten Tages ſchon 1 Monat und unterhalb des Poles ſelbſt 6 Monate. Deshalb haben ſpätere Geographen noch 6 Klimata in dem Raume zwiſchen dem Polarkreiſe und dem Pole unterſchieden, deren längſte Tage nach dem Pole hin um 1 Monat zunehmen. Die folgende Tabelle giebt eine Ueberſicht der 30 Klimata zwiſchen dem Aequator und dem Pole zugleich nach Berghaus *) mit Angabe eines Ortes der alten Welt, welcher unter oder doch in der Nähe des jedem Klima correſpondirenden Breitenkreiſes liegt.

Tafel der Klimata **).

Klimata		Längſter Tag	Ort	Geograph. Breite	Breite der Klimata
a)	0	12 h	Aequator	0°	
	1	12,5	Sierra Leone, W. Küſte von Afrika .	8,6	8,6°
	2	13	Maſulipatam, Indien	16,7	8,1
	3	13,5	Indus-Mündung, Indien	24,5	7,8
	4	14	Nil-Delta, Afrika	30,8	6,3
	5	14,5	Inſel Malta, Mittelländiſches Meer .	36,5	5,7
	6	15	Rom, Italien	41,4	4,9
	7	15,5	Mailand u. Venedig, Italien . . .	45,5	4,1
	8	16	Regensburg, Deutſchland	49,0	3,5
	9	16,5	Magdeburg, Deutſchland	52,0	3,0
	10	17	Inſel Rügen, Oſtſee	54,5	2,5
	11	17,5	Riga, Rußland	56,6	2,1
	12	18	Nordſpitze von Schottland	58,5	1,9
	13	18,5	St. Petersburg, Rußland	60,0	1,5
	14	19	Suderöe, ſüdlichſte Inſel der Faröer .	61,3	1,3
	15	19,5	Dovrefjeld, Norwegen	62,4	1,1
	16	20	Drontheim, Norwegen	63,4	1,0
	17	20,5	Kajaneborg, Finnland	64,2	0,8
	18	21	Archangel, Rußland	64,8	0,6
	19	21,5	Mittler Parallel des Weißen Meeres .	65,4	0,6
	20	22	Torneå, Lappland	65,8	0,4
	21	22,5	Lappland	66,1	0,3
	22	23		66,3	0,2
	23	23,5		66,4	0,1
	24	24	Nördl. Polarkreis, N. Spitze v. Island	66,5	0,1
b)	1	1 Monat	Südlichſte Inſel d. Loffoden, Norwegen	67,5	1,0
	2	2 "	Nördlichſte Inſel derſelben	69,5	2,0
	3	3 "	Matatſchkin Schar, Nowaja Semlja .	73,3	3,8
	4	4 "	Mitte von Spitzbergen	78,3	5,0
	5	5 "	Eismeer, nördlich von Spitzbergen .	84,0	5,7
	6	6 "	Nordpol	90,0	6,0

*) Allgemeine Länder- und Völkerkunde. Stuttgart 1837. Bd. I. S. 103.

**) Auf die Wirkung der Strahlenbrechung iſt in dieſer Tafel keine Rückſicht genommen.

Da dieſe Eintheilung ganz mathematiſch iſt, ſo paßt ſie auch nicht auf das, was wir jetzt unter dem Begriffe Klima verſtehen. Unter dem wirklichen oder phyſiſchen Klima im Gegenſatze zu dem mathematiſchen oder ſolaren verſtehen wir die natürliche, durch Lage, Boden, Wärme, Witterung ꝛc. bedingte Beſchaffenheit eines Landes, oder nach A. v. Humboldt's *) ſchärferer Beſtimmung umfaßt das Wort Klima, in ſeiner allgemeinſten Bedeutung, alle die Modificationen der Atmoſphäre, von denen unſere Organe auf eine merkliche Weiſe berührt werden, als da ſind: die Temperatur, die Feuchtigkeit, die Veränderungen des barometriſchen Druckes, der ruhige Zuſtand der Luft, oder die Wirkungen ungleichnamiger Winde, die Ladung, d. i. die Quantität elektriſcher Tenſion, die Reinheit der Atmoſphäre oder ihre Vermengung mit mehr oder minder ungeſunden Gasausſtrömungen, endlich der Grad gewöhnlicher Durchſichtigkeit, jene Reinheit des Himmels, ſo wichtig durch den Einfluß, den ſie nicht allein auf die Strahlung des Bodens, auf die Entwickelung der organiſchen Gewebe der Pflanzen und die Zeitigung der Früchte, ſondern auch durch die Geſammtheit der moraliſchen Eindrücke, welche der Menſch in den verſchiedenen Zonen empfindet, ausübt.

Das mathematiſche Klima würde zugleich das phyſiſche ſein, wenn die Erdoberfläche durchweg von derſelben Beſchaffenheit und frei von Erhöhungen und Vertiefungen wäre, wie bereits in dem Art. Iſothermen hervorgehoben worden iſt. Da dies nicht der Fall iſt, ſo können Orte, welche daſſelbe mathematiſche Klima haben, ein durchaus verſchiedenes phyſiſches beſitzen, wie denn, um hier nur ein Beiſpiel anzuführen, die weſtlichen Gegenden von Europa ungleich mildere Temperatur haben, als die unter demſelben Parallelkreiſe liegenden Gegenden des öſtlichen Amerika.

Die einzelnen Aeußerungen des Klimas: die Temperatur (ſ. Artikel Iſothermen), Regen, Winde ꝛc. werden unter einzelnen Artikeln abgehandelt. Hier wird von den Urſachen der klimatiſchen Verſchiedenheiten und deren Einflüſſen zu ſprechen ſein. Was die Urſachen betrifft, ſo ſind dieſe theils allgemeiner, theils beſonderer Art, d. h. theils ſolche, welche an allen Orten der Erde das Klima beſtimmend auftreten, theils ſolche, welche nur hier und da vorkommen, daher auch nur dort, wo ſie auftreten, von Einfluß ſind.

Allgemeine Urſachen ſind:

1) Die Breite der Orte, indem bekanntlich die Hitze unterhalb und um den Aequator am heftigſten iſt und von da nach den Polen zu immer mehr abnimmt.

2) Die Höhe über der Meeresoberfläche oder die Seehöhe eines Ortes. Je höher wir uns über die Oberfläche des Meeres erheben, deſto mehr nimmt bekanntlich die Temperatur ab, zugleich wird auch die Atmoſphäre dünner. Einer Erhebung von 600 Fuß entſpricht im Mittel eine Temperaturabnahme von 1 Grad Celſius. (Vergl. Art. Atmoſphäre Bd. I. S. 480. und Art. Iſothermen.) Beſonders modificirt ſich noch das Klima der ſogenannten Hochebenen, Ebenen, welche ſich in einer bedeutenden Höhe über dem Meeresſpiegel hinziehen. Da die in dieſen Höhen lagernden Luftſchichten dünner

*) Kosmos. Bd. I. S. 340.

als über der Meeresfläche ſind, ſo dringen die Sonnenſtrahlen ungeſchwächter durch ſie hindurch und bewirken daſelbſt eine größere Wärme, welche mit ſtärkerer Kälte, die des Nachts in Folge der ungehinderten Wärmeausſtrahlung eintritt, abwechſelt. Die Regenwolken erheben ſich ſelten oder nie in dieſe Höhe. Quito iſt eine ſolche Hochebene, die ſich 8000 Fuß über die Meeresfläche erhebt. Ein anderes Beiſpiel iſt die Wüſte Gobi in Oſtaſien zwiſchen 32° und 43° n. Br.

3) Die Beſchaffenheit des Bodens. In ſandigen Gegenden, denen es überdies an einer feſten Grundlage mangelt, verliert ſich das aus der Atmoſphäre kommende Waſſer leicht und der Boden zeigt eine fortwährende Trockenheit. Sind ſolche Gegenden weit ausgebreitet, wie im nördlichen Afrika die Sahara, ſo hat die Trockenheit des Bodens zur Folge, daß ſich auch gar keine wäſſerigen Ausdünſtungen in die Luft erheben, folglich auch keine feuchten Niederſchläge aus dieſer erfolgen. In Ober-Aegypten und Süd-Amerika haben Rouet und A. v. Humboldt um Mittag die Boden-Temperatur des Granitſandes 67,75 und 60,5° C. gefunden *). Die hieraus ſich erzeugende Trockenheit macht, daß weder Pflanzen noch Thiere, mit Ausnahme weniger Arten, exiſtiren können, nicht einmal Vögel fortkommen und daher eine ſolche Gegend völlig zur Wüſte wird. In den Wüſten kommen dann einzelne höchſt üppig mit Vegetation bedeckte Stellen, die ſogenannten Oaſen vor. Dies ſind Stellen, an denen eine feſte Grundlage, vorzüglich Granit, das tiefere Herabſinken des atmoſphäriſchen Waſſers hemmt, wo ſich alſo das Waſſer anſammelt und nun mit der Wärme vereinigt das blühendſte Leben mitten in der Einöde hervorruft. Im Gegenſatze hierzu wird im Allgemeinen ein mit Pflanzen reich bedeckter Boden (Wieſen, Wälder) die Wirkung der Sonnenſtrahlen mindern und die Feuchtigkeit länger zurückhalten als ein ſandiger, kahler Boden; jene Gegenden werden daher nicht allein fruchtbarer, ſondern auch kühler als dieſe ſein, z. B. Aequatorial-Amerika. Kalkhaltiger Boden reflectirt die Sonnenſtrahlen ſtark und verbreitet größere Wärme, als thonhaltiger Boden und Dammerde, welche länger die Feuchtigkeit zurückhalten und kühl bleiben. Auch ſchwarze baſaltige Gegenden werden leicht und ſtark erhitzt.

4) Die Beſchaffenheit der Tropenzone. Es iſt dieſe Zone entweder eine kahle, dürre, breite, terreſtre, wie wir z. B. in Afrika finden, oder eine zwar auch terreſtre, aber doch mit Vegetation dicht bedeckte, feuchte, vom Ocean vielfach verengte, wie in Amerika, oder drittens eine vorherrſchend oceaniſche, wie in Aſien. Wie verſchiedenartig die hieraus reſultirende Wirkung auf das Klima der außertropiſchen Landſchaften iſt, zeigt ſich beſonders in den Winden, welche in Folge des in der Tropenzone aufſteigenden Luftſtromes von hieraus nach den außertropiſchen Gegenden ihre Richtung nehmen. Wir verweiſen deshalb, ſo wie überhaupt wegen des Einfluſſes

5) der vorherrſchenden Winde auf den Art. Wind.

6) Die Richtung und Höhe der Gebirgszüge. Es verſteht ſich von ſelbſt, daß ſie Hinderniſſe darbieten für das Fortſchreiten der Winde; ſie wirken daher theilweiſe ſchützend gegen Temperatur erniedrigende Luftſtrömungen, anderen Theils hemmen ſie aber auch die Temperatur erhöhenden. Dies iſt namentlich der Fall bei hohen Gebirgen, welche in der Richtung von Oſt nach Weſt ſich

*) v. Humboldt, Anſichten der Natur. 3. Ausg. 1849. Bd. I. S. 156.

erſtrecken, wie das Himalaya-Gebirge. Einen beſonderen Einfluß auf die Regenverhältniſſe äußern namentlich die in der Richtung von Süd nach Nord ſich erſtreckenden Gebirge, wie die Cordilleren und die Gebirge in Norwegen. Auch müſſen wir hier noch auf den Einfluß der mit Schnee bedeckten Hochgebirge hinweiſen, indem ſich von ihnen die kalte Luft herabſenkt, die eine Temperaturerniedrigung zur Folge hat.

7) Die größere oder geringere Klarheit des Himmels. Wir müſſen uns hier begnügen darauf hinzuweiſen, daß ein bedeckter Himmel im Sommer die Wirkung der Sonnenſtrahlen mindert und im Winter die Wärmeausſtrahlung des Bodens hindert, ſo daß dadurch eine ſtarke Erkältung deſſelben abgehalten wird. Wodurch die größere oder geringere Klarheit des Himmels bedingt wird, darüber handeln die Art. Nebel, Regen, Thau, Verdunſtung, Wind ꝛc., auf welche wir deshalb verweiſen; hier erwähnen wir nur als einer allgemeineren Bedingung

8) der Nähe großer Waſſerflächen. Sumpfſtrecken, viele Seen, große Flüſſe verbreiten Feuchtigkeit und, wenn ſie lange mit Eis bedeckt ſind, bedeutende Kälte. Die Gegend der nordamerikaniſchen Seen (ſ. weiter unten in dieſem Art.) giebt einen ſchlagenden Beleg hierfür. Noch bedeutender iſt aber der Einfluß des Meeres, und zwar am meiſten da, wo ſtark entwickelte Küſten und Binnenmeere ſich finden. Es wirkt nämlich das Meer in der gemäßigten Zone Temperatur erhöhend an den Weſtküſten der Continente in Folge der warmen äquatorialen Meeresſtrömungen, hingegen erniedrigend an den Oſtküſten durch die kalten polaren Meeresſtrömungen, vergl. Art. Meer. Hier wollen wir nur beiſpielsweiſe auf den Strom kalten Meereswaſſers hindeuten, welchen A. v. Humboldt (1802) an der peruaniſchen Küſte entdeckt hat *). In der Eiszone iſt die Wirkung des Meeres Temperatur erniedrigend, wenn ein Erdtheil, wie Amerika und in noch höherem Grade Aſien, ſich mit einer breiten Landmaſſe in dieſelbe hinein erſtreckt.

Bei dieſer Gelegenheit mag auch des auf dem Meere ſelbſt herrſchenden Klimas Erwähnung geſchehen. Das Meer hat im Allgemeinen den Einfluß, daß es das Klima mehr conſtant, d. h. weniger der Veränderlichkeit unterworfen macht. Hier kommen wenige oder gar keine von den zufälligen Einflüſſen auf das Klima vor, dieſes wird faſt lediglich durch die Breite beſtimmt, denn auch die Erhebung über die Meeresfläche fällt natürlich weg. Die Luft über dem Meere iſt ſtets mit Feuchtigkeit erfüllt und das Meer ſelbſt iſt weniger den Veränderungen der Temperatur ausgeſetzt als der Boden des feſten Landes. Alles dies gilt ſtreng jedoch nur von den weiter ausgedehnten Meeren und nicht in der Nähe der Küſten, denn hier und in engen Meeren wird das Klima durch die örtliche Beſchaffenheit des Strandes modificirt werden.

Gehen wir auf die phyſikaliſchen Momente ein, aus welchen dieſe Verſchiedenheit des Klimas über dem Meere und über dem Feſtlande ſich ergiebt, ſo finden wir zunächſt, daß die glatte Meeresfläche die von der Sonne einſtrahlende Wärme in größerem Maße zurückwirft, als der feſte Boden, daß umgekehrt das Waſſer weniger von der aufgenommenen Wärme durch Ausſtrahlung wieder abgiebt.

*) Anſichten der Natur. 3. Ausg. Bd. I. S. 155.

Während auf dem Festlande die Erwärmung sich zunächst nur auf die obere mit Luft in Berührung stehende Schicht beschränkt, dringt dieselbe bei dem Wasser in größere Tiefe ein. Von der von dem Wasser absorbirten Wärme wird überdies ein Theil zur Verwandlung desselben in einen anderen Aggregatzustand, zur Dampfbildung verbraucht, nur der Rest dient zur Temperaturerhöhung; hierzu kommt noch, daß die Wärmecapacität des Wassers bedeutender ist, als die des trockenen Erdreichs, indem für eine gleiche Temperaturerhöhung ein Gewichtstheil Wasser ungefähr fünfmal mehr Wärme erforderlich macht, als ein gleicher Gewichtstheil von diesem, oder auf gleiche Raumeinheiten bezogen ungefähr das Doppelte. Rechnen wir hierzu noch die in dem beweglichen Meere Temperatur ausgleichend wirkenden Strömungen, durch welche das wärmere Wasser an der Oberfläche von den äquatorialen Gegenden nach den kälteren hingeführt wird, während in der Tiefe ein umgekehrt gerichteter Strom des kälteren Wassers stattfindet; so haben wir gewiß Anhaltepunkte genug, um uns den Unterschied des Einflusses des Meeres im Gegensatze zu dem des Festlandes auf die Atmosphäre und somit auf das Klima erklären zu können.

Das Eigenthümliche des Insel- und Küstenklimas ergiebt sich hieraus ohne Weiteres. Inseln und Küsten sind dem Temperaturwechsel weniger ausgesetzt, als das Binnenland. Den Gegenden am Meere kann es überdies auch nicht an Feuchtigkeit fehlen, da sich wässerige Ausdünstungen in Masse vom Meere erheben, die dann als Regen auf das Land niederfallen. Die Meergegenden zeichnen sich aber namentlich auch durch häufige Nebel und Stürme aus, so wie wenigstens manche flache Gegenden durch Ueberschwemmungen. So wird von dem Küstenklima auf dem Vorgebirge der guten Hoffnung berichtet, daß daselbst $^4/_{10}$ des Jahres Südostwinde wehen, welche häufig in heftige Stürme übergehen, so daß sie die Dünen am Ufer des Meeres versetzen und große Massen Sand fortführen. Diese Stürme sind den Bäumen im Wachsen hinderlich und zerbrechen dieselben nicht selten, stürzen Mauern um, sind den Schiffen gefährlich, und machen für Häuser und Gärten eigene Schutzmittel nöthig. Ueberdies herrschen in jenen Gegenden viele und starke Nebel, so daß nur ein Drittheil des Jahres heitere Witterung ist. Aehnlich ist auch das Klima des Küstenlandes von Buenos-Ayres. Hier sind aber die Nebel seltener, obschon eine bedeutende Feuchtigkeit herrscht. Dafür sind häufige und furchtbare Gewitter. Von einem Gewitter im Januar 1793 in Buenos-Ayres wird erzählt *), daß es 37 Mal eingeschlagen und 19 Personen getödtet habe. In den nördlichen Küstenländern kommen die Gewitter fast ausschließlich im Winter vor **). Die Inseln des großen Oceans zeichnen sich zum Theil durch Fruchtbarkeit und Milde des Klimas aus, indem die sonst dem Breitengrade nach hier zu erwartende Hitze durch das Meer gemäßigt wird. Besonders merkwürdig ist das Klima von St. Helena unter 16° s. Br. Die hohen Bergspitzen dieser Insel sind immer in Wolken gehüllt und der Boden ist stets feucht und daher sehr fruchtbar. Die Temperatur ist kühl und es herrscht ein fortwährender Südostwind und zwar gerade dann am heftigsten, wenn auf dem genau im Südost liegenden Cap die heftigsten Nordwestwinde wehen.

---

*) Voyages dans l'Amérique méridionale par D. Felix de Azara etc. Paris 1809. T. IV. I. chap. 1.

**) Art. Gewitter. Bd. III. S. 562.

Auch das genau bekannte Klima von Großbritannien zeichnet ſich vor dem Klima des Continents aus. Berlin, Amſterdam und London liegen beinahe unter demſelben Grade n. Br. und ungefähr zwei Grade nördlicher als Charkow, dabei aber ſind ſie von großer klimatiſcher Verſchiedenheit. Charkow hat kältere Winter als Berlin, dieſes kältere als Amſterdam, und in London reichen Kamine hin, die Zimmer zu erwärmen. In England kommen den ganzen Winter hindurch die Schafe nicht aus dem Freien.

Nirgends in England *) ſinkt die mittlere Temperatur des Winters bis unter den Gefrierpunkt herab, und ſelbſt auf der ſhetländiſchen Inſel Unſt in 60° 42′ n. Br. beträgt dieſelbe noch etwa 4°. Aber dann ſind dieſe Inſeln faſt mit ewigem Nebel bedeckt, Stürme aus S. W. condenſiren das Waſſer, es regnet häufig und die Strahlung wird daher verhindert, während das wärmere Meer der Luft beſtändig eine Menge ſeiner Wärme abgiebt. Dafür aber iſt die Wärme des Sommers unbedeutend und Bäume gedeihen nicht mehr. Gehen wir weiter nach Süden, ſo werden die Winter in England wieder kälter, dafür aber die Sommer wärmer, ſo daß der Unterſchied zwiſchen beiden Jahreszeiten, welcher auf der ſhetländiſchen Inſel Unſt nur die Größe von 8° hatte, hier bis zu 12° ſteigt. So wie wir uns jedoch den ſüdlichen und ſüdweſtlichen Küſten von England nähern, ſo wird dieſer Unterſchied wieder geringer, die Temperatur des Winters nimmt ſehr ſchnell zu, wie uns dieſes Gosport und noch mehr die beiden in Cornwallis liegenden Orte Penſance und Helſton beweiſen, welche letzteren eine Wintertemperatur von mehr als 6° haben. Aber hier ſind auch die Winterregen ſtark, die Luftmaſſen niederer Breiten erwärmen die Atmoſphäre ſehr bedeutend. Schon längſt iſt auf das merkwürdige Klima von Penſance und Devonſhire aufmerkſam gemacht worden. Pflanzen, welche keiner großen Kälte widerſtehen können, wie Myrthen, Camellia japonica, Fuchsia coccinea und Buddleja globosa gedeihen an der Meeresküſte ohne Schutz und der Hafen von Salcombe iſt daher häufig das Montpellier des Nordens genannt worden **). Im Jahre 1774 blühte zu Salcombe eine Agave, nachdem ſie 28 Jahre geſtanden, ohne im Winter bedeckt zu werden. An dieſer Küſte ſind die Winter ſo mild, daß man Orangenbäume am Spalier ſieht, die man, wie in Rom, nur mittelſt Matten ſchützt.

Die verhältnißmäßig warme Temperatur, welche auf der Weſtküſte von Nord-Europa im Vergleich zu anderen Gegenden der Erde unter gleichen Breiten herrſcht (vergl. die Iſothermkarten im Art. Iſothermen), wird den Waſſern des Golfſtromes, welche von Amerika aus der Gegend von Mexiko herüberſtrömen, gewöhnlich zugeſchrieben; Dove ***) hat aber nicht mit Unrecht Europa als den Condenſator für das caraibiſche Meer erklärt, und mit Glück die erhöhte Temperatur an der Weſtküſte Europas aus der Wärme abgeleitet, welche aus dem wieder tropfbarflüſſig werdenden Waſſerdampfe, welchen die Südweſtwinde bringen, frei wird. In gleicher Weiſe erklärt ſich die nördliche Lage der Iſothermen an der Nordweſtküſte Nordamerikas, wo die Andes und die Felſengebirge, wie bereits oben be-

*) Kämtz, Meteorologie. Bd. II. S. 60.

**) A. v. Humboldt in Mém. d'Ac. T. III. p. 537; vergl. Kleinere Schriften. Stuttgart und Tübingen. 1853. Bd. I. S. 264, nach Knight in den Transact. of the Horticultural Soc. of London. T. I. p. 32; vergl. auch Kosmos. Bd. I. S. 348.

***) Monatsiſothermen, Berlin 1849. S. 26—28; vergl. Art. Iſothermen.

merkt wurde, als von dem Einfluſſe der von Süd nach Nord ſich erſtreckenden Gebirgszüge die Rede war, den Niederſchlag der von dem großen Ocean mit Südweſtwind herbeigeführten Waſſerdämpfe bedingen.

Die auffallende Verſchiedenheit in dem Einfluſſe des Meeres einerſeits und des Feſtlandes andererſeits auf das Klima führt nicht nur darauf ein beſonderes Inſel- und Küſtenklima zu unterſcheiden, ſondern veranlaßt den entſchiedenen Gegenſatz zwiſchen See- und Continentalklima.

Es war von Dove*) ein glücklicher Gedanke den Begriff der thermiſchen Normalen aufzuſtellen. Wir verweiſen deshalb auf das Ende des Art. Iſothermen, und nehmen auch hier auf umſtehenden Seiten nochmals die Karten der Iſothermen des Januar und Juli auf, da dieſelben dieſe, hier beſonders wichtigen Linien enthalten.

Die thermiſchen Normalen verbinden die Orte normaler Temperatur, d. h. die Orte, deren mittlere Temperatur mit der mittleren Temperatur des ganzen Breitenkreiſes übereinſtimmt. Hieraus folgt, daß man aus dieſen Linien in Verbindung mit den Iſothermen ſofort erkennen kann, ob ein Ort relativ kalt oder relativ warm iſt, und ob eine Gegend das ganze Jahr hindurch oder nur zeitweiſe eines See- oder Continentalklimas theilhaftig iſt, indem das erſtere der Fall iſt, wenn die Temperatur im Winter höher und im Sommer niedriger iſt, als die mittlere oder Normal-Temperatur, das andere, wenn das Umgekehrte ſtattfindet. Die thermiſchen Normalen ſind die Grenzlinien der beiden Klimate.

In dem angeführten Artikel Iſothermen ſind bereits einige hierauf bezügliche Reſultate hervorgehoben; wir verweiſen deshalb auf dieſelben und fügen hier nur noch einige Einzelheiten hinzu.

Im Inneren des aſiatiſchen Continents haben Tobolsk, Barnaul am Obi und Irkutsk Sommer wie in Berlin, Münſter und Cherbourg in der Normandie; aber dieſen Sommern folgen Winter, in welchen der kälteſte Monat die ſchreckhafte Mitteltemperatur von — 18° bis — 20° hat. In den Sommermonaten ſieht man wochenlang das Thermometer auf 30° und 31°. Buffon nannte ſolche Continentalklimata nicht mit Unrecht exceſſive**).

Ganz Europa fällt im Januar in den warmen Raum, denn die thermiſche Normale iſt faſt ganz genau die Scheidelinie zwiſchen Europa und Aſien. Auch Grönland liegt darin, aber nur der ſchmale Küſtenſaum von Nordamerika am ſtillen Meere jenſeits der Andes und Felſengebirge. In der tropiſchen Gegend iſt überall das Meer im Winter wärmer, daher bildet das Innere von Afrika eine iſolirte kalte Stelle im Gegenſatz zu dem warmen Weſtindien und den Küſtenländern des indiſchen Meeres und großen Oceans. Java und die Sundainſeln haben daher dann im Gegenſatz zu Weſtindien und Polyneſien ein Continentalklima***). Hierbei macht Dove darauf aufmerkſam, daß es unpaſſend ſein würde, wenn man Orte zu verſchiedener Breite vergleichen wollte, z. B. wenn man ſagen wollte, Moskau liege im Seeklima, hingegen Singapore und Batavia im

*) Monatsiſothermen S. 4.

**) A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. I. S. 347; Anſichten der Natur, 3. Ausg. 1849. Bd. I. S. 167.

***) Dove, Monatsiſothermen. S. 8.

continentalen. Zugleich wollen wir hier davor warnen, die Charakteriſtik einer Gegend in Betreff des Klimas nur aus dem Unterſchiede zwiſchen den mittleren Temperaturen des Sommers und Winters beſtimmen zu wollen. Eine Betrachtung der Lage der thermiſchen Normalen im Januar und Juli, da hierdurch die Extreme der Verſchiebung derſelben bezeichnet werden, bietet ſchon einen ſicheren Anhalt. So ſehen wir z. B., daß von ganz Europa eigentlich nur Schottland und Irland während des ganzen Jahres dem Seeklima angehören, während der übrige Theil während des Winters zwar auch ein Seeklima hat, im Sommer aber ein continentales. Eben ſo wie mit Schottland und Irland verhält es ſich in Amerika mit der Weſtküſte von Californien nordwärts.

Haben wir oben die allgemeinen auf das Klima einer Gegend einwirkenden Urſachen angegeben, ſo wollen wir nur noch einiger beſonderen gedenken.

Die Iſothermkarte des Januar zeigt in Skandinavien eine auffallende Krümmung der Iſothermen, ſo daß man da von Süd nach Nord reiſend ſogar nach wärmeren Gegenden kommt, als die waren, welche man verlaſſen hat. Der Grund hiervon iſt darin zu ſuchen, daß die ſüdlichen Theile von Norwegen durch das vorliegende Großbritannien mehr gegen den Einfluß der warmen Meeresſtröme geſchützt ſind, als die nördlichen.

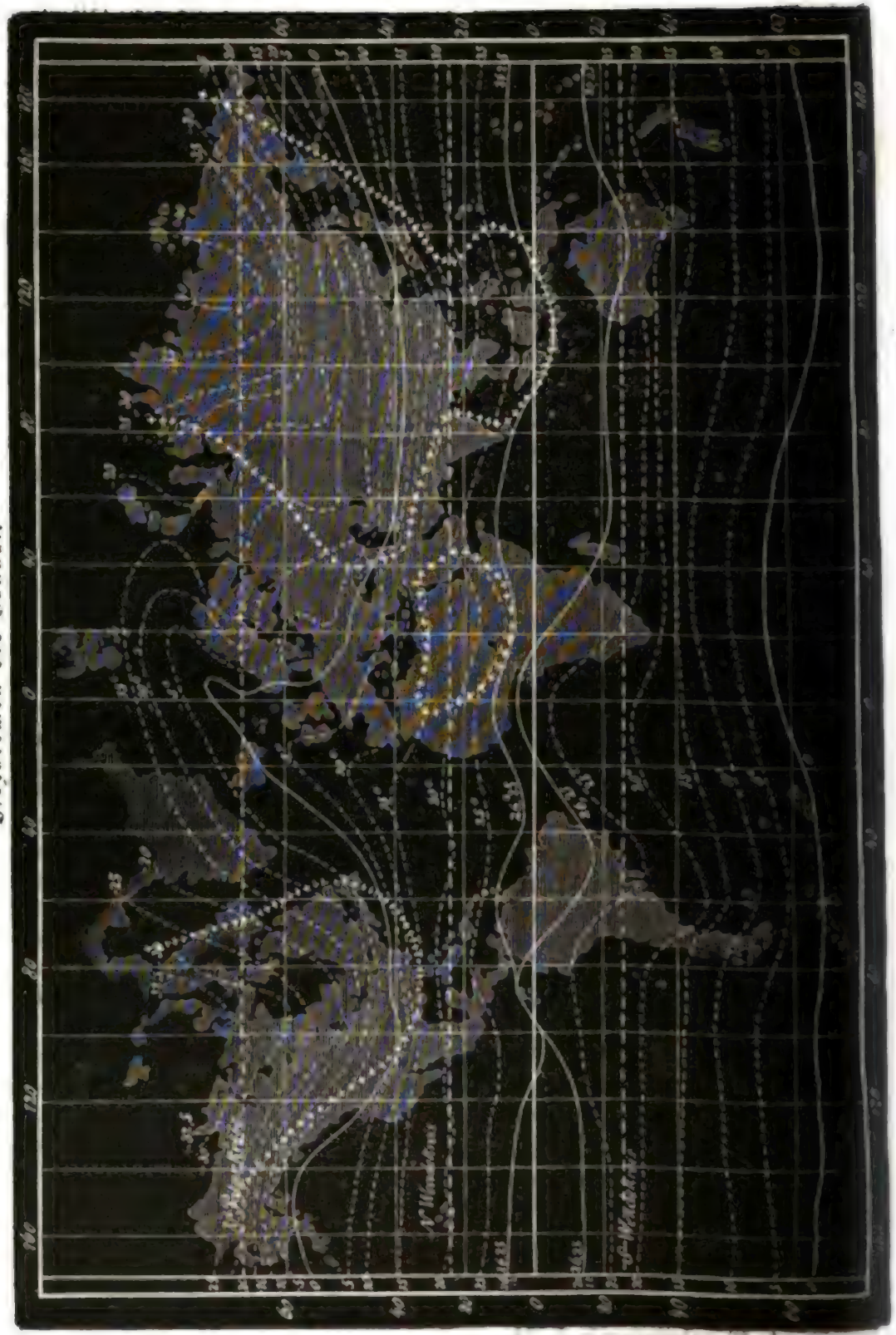
Auf der entgegengeſetzten Seite des atlantiſchen Oceans finden wir auf der Karte des Januar eben ſo eine ſüdliche Richtung der Iſothermen. Das von der Küſte Grönlands und aus der Baffinsbay bis in den Monat Mai heruntertreibende Eis iſt der Grund dieſer Temperaturerniedrigung.

Die auffallende Concavität der Iſothermen des Juli im Norden des großen Oceans, in dem Behringsmeere, verräth den Einfluß des aus dem Eismeere abziehenden kalten Waſſers. Eine gleiche Urſache iſt in dem kariſchen Meere wirkſam. Dove vergleicht dieſes Meer mit einem Eiskeller. Durch die kariſche Pforte und Matoſchkin Schar geht eine Strömung gegen Weſten nach Spitzbergen, wird an der grönländiſchen Küſte nach Süden abgelenkt und fließt in ſüdweſtlicher Richtung zwiſchen Island und Grönland bis zum Cap Farewell. Ueberall verbreitet dieſer Strom mit ſeinen Eismaſſen eine intenſive Kälte. Am Cap Farewell trifft dieſe Strömung den durch die Davisſtraße herabkommenden Strom, und daher treffen ſich an der Neufoundlandsbank vom März bis Juni die Eismaſſen beider Ströme, welche dann in der hohen Temperatur des Golfſtromes raſch ſchmelzen. Hieraus erklärt ſich, warum bei zunehmender Mittagshöhe der Sonne in dieſen Gegenden Amerikas die Temperatur nicht ſo hoch ſteigt, als es ſonſt der Fall ſein müßte.

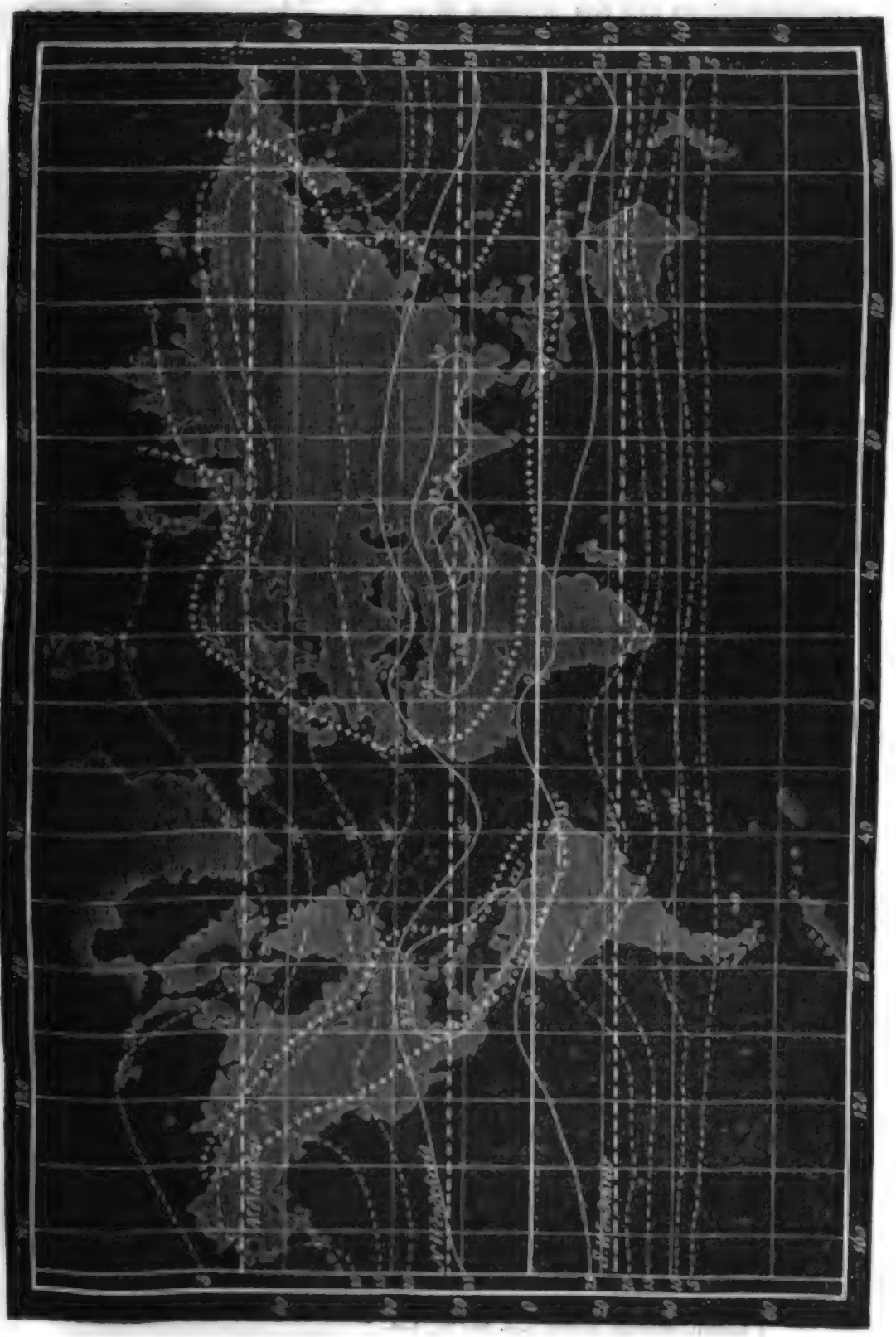
Ueber das Klima Nordamerikas, im Winter ein echtes Continentalklima, ungeachtet die Küſten von dem warmen Golfſtrome beſpült werden, im Sommer eher an das Seeklima erinnernd, ſagt Dove *) Folgendes:

Der Superior, Huronen, Erie, Michigan, Ontario und die kleinen Seen des Stromgebietes des St. Lorenz bedecken zuſammen eine Oberfläche von 94000 engl. Quadratmeilen. Außerdem bildet der Bärenſee, Sclavenſee, Athapescom, Winipeg, Manituba, Garry, Churchill und Wälderſee eine faſt ununterbrochene Kette von Waſſerſpiegeln in der Mitte des Landſtrichs zwiſchen der Hudſonbay und

*) Monatsiſothermen S. 28.



Isothermen des Januar.



Isothermen des Juli.

den Felsengebirgen nach dem arktischen Meere hin. Bei abgeschlossenen Wasserspiegeln findet das Herabsinken der erkälteten Tropfen und die Temperaturerniedrigung der Luft durch Verdunstungskälte wie im Meere statt. Aber das zu Boden gesunkene Meerwasser fließt in der Tiefe nach wärmeren Gegenden ab. Dieses seitliche Abfließen kann in eingeschlossenen Seen nicht eintreten. Da außerdem Süßwasser bei 3° R. über dem Frostpunkte am dichtesten ist, so hört bei dieser Temperatur das Herabsinken auf, ein Süßwasserspiegel verliert also da schon seinen abgleichenden Einfluß, der bei Meerwasser bis unter Null stattfindet, da es sich bis zum Frostpunkte ununterbrochen zusammenzieht, bei welchem außerdem die Bildung einer festen Eisdecke durch die Wirkung der Ebbe und Fluth wesentlich gehemmt wird. Amerika mit seinen gefrornen Seen ist daher im Winter eine continentale Masse, während es im Sommer mannichfach gegliedert erscheint. Warum die Seen aber im Verhältniß zu Europa viel früher im Jahre gefrieren, dafür sucht Dove den Grund darin, daß die in Europa im Winter auf SW. fallende mittlere Windesrichtung nach dem Sommer hin immer nördlicher wird, in Amerika hingegen die im Winter nordwestliche Windesrichtung mehr südwestlich im Sommer.

Von besonderem Einflusse auf die Temperatur sollen ausgebreitete Waldungen sein. Dieselben ziehen in heißen Gegenden die Feuchtigkeit der Atmosphäre an sich, halten die vorhandene länger zurück und erzeugen so eine größere Kühlung. Auf den Cap-Verdischen Inseln und auf Barbadoes soll wegen zu starker Ausrottung der Urwälder oft in 3 Jahren kein Regen fallen, so daß Alles verdorrt. Auf einigen westindischen Inseln hat man daher aufs Neue Wälder anlegen müssen, auf anderen ist es bei schwerer Strafe verboten, die in Wäldern zum Regen vorbehaltenen Länder (so nennt man sie) abzuholzen *).

Durch die im amerikanischen Continente noch vorhandenen Urwälder ist jener Welttheil feucht und fruchtbar im Gegensatze gegen die sandigen Districte von Asien und Afrika. Moreau de Jonnes, der sich namentlich bemüht hat, den Einfluß der Waldungen auf die Temperatur zu erörtern **), zeigt, daß die große Hitze und Trockenheit eines Theils von Persien, der Tartarei, selbst der Gegenden um Kabul und der Wüste Sind eine Folge der Ausrottung der Bäume sei, welche übrigens in der Umgebung bewohnter Oerter sehr gut gedeihen und daher keineswegs in Folge der Unfruchtbarkeit des Bodens so gänzlich mangeln. Nach v. Humboldt's ***) Urtheile würde Amerika eine gleiche Veränderung erleiden, wenn es seine Wälder durch gänzliche Ausrottung verlöre. Hierdurch, sagt er, bereiten die Menschen unter allen Himmelsstrichen den kommenden Geschlechtern gleichzeitig eine doppelte Plage, Mangel an Brennstoff und an Wasser. Die Bäume verbreiten um sich eine kühlere, feuchte Atmosphäre und wirken auf den Reichthum der Quellen, indem sie den Boden gegen die unmittelbare Einwirkung der Sonnenstrahlen schützen. Die Zerstörung der Wälder, wie die

---

*) Forster, Stoffe zum Nachdenken. S. 14; Muncke in Gehler's physikal. Wörterb. N. B. Bd. V. S. 881.

**) Untersuchungen über die Veränderungen, die durch die Ausrottung der Wälder in dem physischen Zustande der Länder entstehen. Aus dem Franz. von W. Wiedemann. Tübingen 1828.

***) Reisen, deutsche Uebers. Bd. III. S. 121.

europäiſchen Coloniſten dieſelbe in Amerika allenthalben mit unvorſichtiger Eile vornehmen, hat die gänzliche Austrocknung oder wenigſtens die Abnahme der Quellen zur Folge. Eben dies iſt nach Lichtenſtein der Fall auf der Südſpitze von Afrika. Dort gedeihen die Wälder nur, wo Feuchtigkeit iſt, alſo in Bergſchluchten, in denen die Bäume den Boden wiederum gegen Austrocknen ſchützen. Dieſen Waldungen allein verdankt die ganze Südküſte von Afrika ihre Fruchtbarkeit, ſie aushauen hieße dieſe Gegenden für mehrere Jahrhunderte unbewohnbar machen.

Kämtz *) widerſpricht jedoch der Behauptung von dem auf die Temperatur herabdrückend wirkenden Einfluſſe der Wälder. Er ſagt: „Wenn es im Allgemeinen nicht zu leugnen iſt, daß das Thermometer in Wäldern nicht ſo hoch ſteht, als auf freien Ebenen, ſo ſcheint dennoch die mittlere jährliche Temperatur dadurch wenig oder gar nicht geändert zu werden, ſobald nicht erwieſen wird, daß die Pflanzen bei ihrem Wachsthume Wärme abſorbiren und binden, ohne daß dieſe in der Folge wieder frei wird. Wenn auch Wälder die Temperatur des Sommers vielleicht nicht ſo hoch ſteigen laſſen, als ſonſt geſchehen würde, ſo verhindern ſie auf der anderen Seite auch wieder die Strahlung und damit die Erkältung während der Nacht und im Winter. Amerika ſelbſt giebt uns den auffallendſten Beweis, welchen geringen Einfluß die Wälder auf dieſen Umſtand haben. Die ſeit mehreren Jahrhunderten von Europäern bebaute Oſtküſte iſt ſchon weit entwaldeter, als die weſtlicher liegenden Gegenden, es müßte dieſer Hypotheſe zufolge die Weſtküſte kälter ſein. Die Erfahrung zeigt das Gegentheil.“ Kämtz ſcheint indeſſen hier überſehen zu haben, daß auf das Klima der Oſt- und Weſtküſte Amerikas noch andere Faktoren Einfluß haben, wie bereits oben auseinandergeſetzt iſt. Wäre die Beſchaffenheit der Erdoberfläche der einzige Faktor, ſo könnten wir ihm beiſtimmen. Er ſagt auch ſelbſt: „Freilich ſpricht die allgemeine Erfahrung nebſt hiſtoriſchen Zeugniſſen für dieſen Einfluß der Wälder. Seitdem letztere in Amerika mehr ausgerottet ſind, ſoll das Klima angenehmer geworden ſein. (Nach A. v. Humboldt **) wird es jetzt allgemein bezweifelt, daß wegen Ausrottung vieler Wälder dieſſeits und jenſeits der Alleghanys das Klima gleichmäßiger: milder im Winter, kühler im Sommer, geworden ſei.) Die Menſchen urtheilen hier nach ihrer Empfindung; Nebel, welche in den Wäldern häufig ſind, erzeugen ſtets ein Gefühl von Kälte. Ganz daſſelbe wird von Europa, namentlich von Deutſchland erwähnt, und Moreau de Jonnes hat eine Menge von Beiſpielen aus den Alten zuſammengeſtellt, welche zeigen ſollen, wie Deutſchland ſeit den Zeiten der Römer und der Verminderung der Wälder wärmer geworden ſei. Aber bei aller Achtung vor den Alten, welche Baco v. Verulam einſt in die Kinderjahre des Menſchengeſchlechts ſetzte, muß ich ihr Zeugniß in dieſer Hinſicht für völlig ungültig erklären. Ihnen, die an den heiteren Himmel Italiens gewöhnt waren, welche faſt gar keine Sommerregen kannten, mußte der trübe Himmel Deutſchlands fürchterlich erſcheinen. Finden wir doch noch eben ſolche Urtheile, wie bei den Alten, über das Klima von Deutſchland, bei Franzoſen und Italienern.“

*) Meteorologie. Bd. II. S. 82.
**) Anſichten der Natur. 3. Ausg. Bd. I. S. 165.

Den Einfluß der Waldungen auf das Klima ganz abzuleugnen, ſtehen wir an. Die verſchiedenſten Urſachen wirken zuſammen, oft heben die einen die andern auf, und ſo ſind gewiß auch die Waldungen einer der Faktoren, wie wir ſchon bemerkt haben, da durch ſie die Beſchaffenheit der Erdoberfläche modificirt wird. Auch ſpricht ſich noch neuerdings A. v. Humboldt*) ausführlich über die zuſammengeſetzten Verhältniſſe in der Einwirkung großer Waldregionen auf die Atmoſphäre aus, und hebt eine dreifache Wirkungsweiſe hervor: durch Schattenkühle, Verdunſtung und kälteerregende Ausſtrahlung.

Das Klima der einzelnen Länder ändert ſich in kürzeren Friſten, ja in Jahrhunderten nur ſehr wenig oder gar nicht**). Während größerer Zeiträume von Jahrtauſenden müſſen aber, wie eine Menge von Anzeigen lehren, bedeutende Veränderungen des Klimas an allen Punkten der Erde vorgegangen ſein***).

Sehr groß iſt der Einfluß des Klimas auf die ganze organiſche Welt. Obſchon der Menſch ſonſt unter allen Himmelsſtrichen fortkommt und ſich hierdurch vor allen andern lebendigen Weſen der Erde auszeichnet, ſo ſind doch die nahe um die Pole gelegenen Gegenden auch für ihn unzugänglich. Die Kälte iſt in jenen Gegenden unerträglich, und trotz vieler Verſuche iſt es doch bisher noch Niemanden gelungen, bis in die Nähe des Erdpoles vorzudringen. Zu den nördlichſten Gegenden, auf denen Menſchen jahrelang ausgedauert haben, gehört Spitzbergen. Hier iſt die Temperatur ſo niedrig, daß Scoresby, der mehreremal zur Zeit des Sommers hier war, doch nur einmal eine Temperatur von 9° C. beobachtet hat. Gewöhnlich erhebt ſich das Thermometer nicht über 1,5° C. Von 9 Engländern, welche hier, durch einen Zufall zurückgelaſſen, zuerſt überwintern mußten, iſt auch nicht einer mit dem Leben davon gekommen, wogegen 8 andere im Jahre 1630 den Winter überſtanden. Später, von 1734 an haben ſich ſogar 3 Ruſſen 6 Jahre und 3 Monate hier aufgehalten, ein vierter aber war geſtorben. Die dem Leben nachtheiligſte Folge des hier waltenden Klimas iſt der Scorbut, welchen Mangel des Lichts, Kälte und die eingeſchloſſene Luft unter der Erde und dem Schnee tödtlich machen.

Im Allgemeinen verſchwindet in den kälteren Gegenden immer mehr die in warmen Regionen ſo große Mannichfaltigkeit in der Pflanzen- und Thierwelt. Jedes Klima hat ſeine eigenen ihm eigenthümlichen Pflanzen und Thiere, nur daß namentlich die Pflanzen der kalten Gegenden gut in wärmeren gedeihen, während umgekehrt die Gewächſe warmer Klimate gar nicht oder nur mit Hülfe der Kunſt in kälteren fortkommen. Die einzelnen Individuen der Pflanzen und Thiere werden in warmen Gegenden ſtärker als in kalten, und erreichen dort häufig eine koloſſale Größe. So fand z. B. v. Humboldt unter dem Aequator Feigenbäume, deren Stamm 22 F. Durchmeſſer hatte. Zuweilen war der Baum über der Erde in Wurzeln von 2 Fuß Durchmeſſer geſpalten, welche ihn wie Pfeiler trugen. Dieſe Wurzeln gehen nicht tief in die Erde, ſondern verbreiten ſich weithin, und wenn man ſie in 20 F. Entfernung vom Stamme abhauet, ſo quillt der Saft heraus und erhärtet. Auf den canariſchen Inſeln ſah derſelbe einen Drachen-

*) A. a. O. Bd. I. S. 138.
**) Vergl. Art. Erde. Bd. II. S. 929.
***) Vergl. Art. Geologie. Bd. II., namentlich S. 524.

baum von 16 Schuh im Durchmesser; er giebt sogar Nachricht von Affenbrotbäumen, welche 25 bis 27 Fuß Durchmesser hielten *).

Das Pflanzenreich ist abhängig vom Boden und Klima, daher in den einzelnen Zonen verschieden. A. v. Humboldt gebührt das Verdienst **) zuerst die richtigen Principien einer Pflanzengeographie aufgestellt zu haben, wiewohl schon Wildenow früher sich auf demselben Gebiete versucht hatte. Auch Treviranus, De Candolle und Schouw sind hier zu nennen; die meiste Anerkennung hat sich aber die zuerst von Meyen ***) aufgestellte Eintheilung erworben. Dieser theilt die heiße und kalte Zone in 2, die gemäßigte allein in 4 Gürtel, und erhält somit 8 Zonen.

1) Aequatorial-Zone von 15 n. bis 15° s. Breite. Es gehört in diese Afrika von dem Südrande der Sahara und dem Quellengebiete des Nil bis zur Südgrenze von Niederguinea und Mozambique; von Asien nur die südliche Hälfte der beiden ostindischen Halbinseln, der ostindische Archipel nebst Neu-Guinea und dem nördlichsten Theile von Neuholland; von der westlichen Halbkugel ein großer Theil der Südseeinseln, vorzüglich die minder bedeutenden, in Amerika: Guatemala, der nördliche Theil von Südamerika nebst Peru und dem größten Theile von Brasilien.

In den Gegenden dieser Zone gesellt sich zu dem hohen Wärmegrade ein entsprechender Grad von Feuchtigkeit der Atmosphäre, und es entfaltet sich die Pflanzenwelt in einer Ueppigkeit und entwickelt eine Mannichfaltigkeit der Formen und der Farben, die jeden zur Bewunderung hinreißt, der die Tropenländer besucht.

Alle Gewächse der Aequatorialzone erscheinen saftreicher, von frischerem, lebhafterem Grün als die unserer nordischen Gegenden. Nicht nur die Blätter erscheinen größer und glänzender, sondern vor Allem auch die Blüthen. Bäume, welche die Höhe unserer Eichen um das Doppelte überragen, prangen dort mit Blumen, die an Pracht und Größe mit denen unserer Lilien wetteifern. Zugleich herrscht hier der größte Reichthum an Gestalten. Gesellig lebende Pflanzen, welche die europäische Vegetation oft so einförmig machen, sind am Aequator fast gar nicht zu finden. Die majestätischen Palmen wechseln mit der großblätterigen Pisangstaude, mächtige Pandanengebüsche mit schlanken Blumenrohren; das luftige Laub der Mimosen contrastirt mit den großen Blättern der Brot- und Wollbäume, und herrliche Orchideen und Lianen verzieren die mannichfachen Formen. Nur die schlanken Bambusen finden sich jederzeit gesellig und bilden hier eben so ausgedehnte Wälder wie die Nadelhölzer unserer nordischen Gegenden. Am wichtigsten aber entfaltet sich die Tropenvegetation in den sogenannten Urwäl-

*) Ansichten der Natur. Bd. II. S. 21; besonders lehrreich ist in dieser Beziehung die wissenschaftliche Erläuterung auf S. 104 ff.

**) Essai sur la Geographie des plantes et Tableau physique des Regions équinoxiales 1807.

***) Grundriß der Pflanzengeographie. Berlin 1836; vergl. auch: Griesebach, Berichte über die Leistungen in der Pflanzengeographie. Berlin 1845 — 1851; eben so verdient der physikal. Atlas von Berghaus, Vorbemerkungen S. 54 ff. noch Beachtung.

dern der Aequatorialzone, worüber wir indeſſen auf andere Werke hinweiſen müſſen *).

2) Tropiſche Zone von 15° bis 23½° n. und ſ. Breite. Sie umfaßt auf der nördlichen Halbkugel: die Sahara, die libyſche und nubiſche Wüſte, das ſüdliche Arabien, die beiden oſtindiſchen Halbinſeln nebſt dem Südrande von China, die Sandwich-Inſeln, das ſüdliche Mexico und die weſtindiſchen Inſeln; auf der ſüdlichen Halbkugel: das unbekannte Hochland von Afrika, Madagaskar nebſt den Mascarenen, die nördliche Hälfte von Neuholland, den größten Theil der Südſeeinſeln, Bolivia und den gebirgigen Theil von Braſilien.

Im Allgemeinen ſteht der Vegetationscharakter dieſer Zone dem der erſten ſehr nahe und in einzelnen Gegenden, wie um Calcutta und Rio de Janeiro, iſt wenig von einem Unterſchiede zu merken. Die Palmen, Bananen und Blumenrohre, die Meliaceen, Aronen und Sapinden ſind auch hier die herrſchenden Hauptformen, und Pothosgewächſe, Orchideen und Lianen erhöhen den Schmuck dieſer Vegetation; indeſſen treten hier die baumartigen Farren in größerer Menge auf als in der Aequatorialzone, und Melaſtomen, Winden und Pfeffergewächſe herrſchen ebenfalls vor. Als beſonders charakteriſtiſch aber iſt hervorzuheben, daß die Wälder der tropiſchen Zone einen größeren Reichthum an Unterholz aufzuweiſen haben, während in der Aequatorialzone die paraſitiſche Flora das Uebergewicht hat.

3) Subtropiſche Zone von 23½° bis 34° n. und ſ. Breite. Es liegt in derſelben auf der nördlichen Halbkugel in Afrika: die Berberei, das Plateau von Barka und Aegypten; in Aſien: das nördliche Arabien nebſt Syrien und Paläſtina, das Hochland von Perſien, die oſtindiſche Tiefebene, die Kette des Himalaya, das Plateau von Tibet und der größte Theil von China; in Amerika: der nördliche Theil des Plateaus von Mexico und der ſüdliche Theil der Tiefebene am Miſſiſippi; auf der ſüdlichen Halbkugel: das Capland, der ſüdliche Theil von Neuholland, Chile und die Länder am La Plata.

Die mittlere Sommertemperatur beträgt in dieſer Zone 22,5 bis 27,5° C., bei einer mittleren Jahrestemperatur von 17 bis 21,5°; es wird die Hitze nicht ſo drückend wie in den Tropen und die Sommerwärme reicht doch aus, um den größten Theil der tropiſchen Früchte zur Reife zu bringen. Dabei ſind die Winter ſo mild, daß die Vegetation nie erſtirbt. In den ebenen Gegenden gedeihen hier faſt überall noch Palmen und Bananen, und die baumartigen Gräſer tragen in China wie am Miſſiſippi zur Charakteriſtik der Vegetation bei. In Betreff der Baumformen zeigt dieſe Zone aber eine durchaus andere Phyſiognomie als die Tropengegenden, indem die Laubhölzer mit dicken, lederartigen und glänzenden Blättern, ſo wie die Myrtenform vorherrſchend werden.

4) Wärmere temperirte Zone von 34 bis 45° n. und ſ. Breite. Auf der nördlichen Halbkugel gehören hierher das ſüdliche Europa: die pyrenäiſche Halbinſel nebſt dem ſüdlichen Frankreich bis zur Mündung der Garonne, die Apenninen und die Balkanhalbinſel; von Aſien: Kleinaſien, die Länder zwiſchen dem ſchwarzen und caſpiſchen Meere, Turan, das Hochland von Innerafien, das nörd-

*) Griſebach, a. a. O. 1844. S. 76; A. v. Humboldt, Anſichten. Bd. I. S. 317. Bd. II. S. 1; Rudolph, d. Pflanzendecke der Erde. Berlin 1853. S. 178.

liche China mit Korea und die japanischen Inseln; von Nordamerika: der nördlichste Theil Mexicos und der größte Theil der vereinigten Freistaaten bis zu den Quellen des Mississippi; von der südlichen Halbkugel der südliche Theil von Neuholland nebst Van Diemensland, Neuseeland, das südliche Chile, das nördliche Patagonien, die Pampas von Buenos-Ayres.

Einige Punkte, z. B. Palermo und Catania, haben noch das Klima der subtropischen Zone. Der tropische Charakter hört hier auf, und nur schwache Andeutungen, wie die in Spanien und Neapel verbreitete Zwergpalme, mahnen daran, daß man sich noch unter jenem glücklichen Himmelsstriche befindet, in welchem die Vegetation ein immergrünes Kleid zeigt. Die Laubhölzer mit dicken, lederartigen und glänzenden Blättern sind für diese Zone eben so charakteristisch wie für die subtropische, doch gesellen sich ihnen schon Laubhölzer mit zarten Blättern hinzu, wie Eichen, Buchen und Ulmen, deren kleine, unansehnliche Blätter nicht mehr im Stande sind, zum Schmucke der Vegetation beizutragen. Dafür treten aber viele Sträucher, wie der Oleander, die Cistrosen (Cistus), mannichfache Haidesträucher und viele Leguminosen mit großen, prachtvollen Blumen auf, und eine Menge von lilienartigen Gewächsen mit reich gefärbter Blüthenhülle schmücken den Boden. Ausgedehnte Wiesen, wie unsere nordischen Gegenden sie zeigen, finden wir hier noch nicht, nur einzelne hochliegende Gebirgsthäler bereiten auf diesen Anblick vor. Weiter läßt sich aber im Allgemeinen nichts über diese Zone sagen; die einzelnen Ländergebiete sind hier so verschieden, daß die eben gegebene Charakteristik, die sich vorzugsweise auf das südliche Europa bezieht, weder auf das Innere von Asien, noch auf die Länder der südlichen Halbkugel paßt.

5) Kältere temperirte Zone von 45 bis 58° n. und s. Breite. In dieser Zone liegen die brittischen Inseln, das nördliche Frankreich, ganz Deutschland, der südliche Theil von Schweden, Polen, Ungarn, die südliche Hälfte von Rußland, das nördliche Turan, das Altaische System und die Mandschurei, Kamtschatka, die Länder im Norden Mexicos und der vereinigten Staaten bis zum Südrande der Hudsonsbai nebst Canada und Labrador. Von der südlichen Halbkugel gehören hierher: Patagonien nebst Feuerland, die Falklandsinseln und einige andere Inseln.

Physiognomisch wird diese Zone zunächst charakterisirt durch die Laubhölzer mit breiten, zarten und hellgrünen Blättern, die in Verbindung mit der gesellig wachsenden Kiefer die Wälder bilden. Der 58. Grad n. Br. kann im westlichen Europa als die Polargrenze der Buche angesehen werden, während der Ural zugleich die östliche Grenze der Eiche bildet; auch geht der Anbau des Weizens im Großen nicht über die Nordgrenze dieser Zone hinaus. Die Stämme unserer Waldbäume sind mit Moosen und Flechten bekleidet, die Lonicera schlingt sich in die Krone niederer Bäume hinauf, der Epheu glimmt an den Baumstämmen, Felsen und Mauern hinauf, oder kriecht weit und breit über den Boden der Wälder hin, und der Hopfen, die bedeutendste Schlingpflanze dieser Zone, klettert 12 bis 15 F. hoch auf die Bäume. Der Reichthum an Gesträuchen ist hier noch bedeutend und viele derselben, wie die zahlreichen Rosen, der Schneeball und die Brombeeren sind mit großen und schönen Blüthen geschmückt. Besonders charakteristisch sind ferner die niedrigen, gesellig wachsenden Gräser, die hier zum ersten Male in größeren Massen auftreten. Unsere Wiesen sind eben so lieblich in ihrer

Erſcheinung, wenn tauſend farbige Blumen ſie in einen bunten Teppich verwandeln, als ſeltſam, wenn ſie an feuchteren Stellen von dem merkwürdigen Wollgraſe mit ſeinen weißen, ſeidenglänzenden Köpfchen bedeckt ſind. An anderen Stellen ſind Moorgegenden oft in bedeutender Ausdehnung mit Mooſen bekleidet, zwiſchen denen nur ſelten ein anderes Pflänzchen emporkommt. Sie bieten einen eben ſo melancholiſchen Anblick dar, wie die trockenen Ebenen, die von der Rennthierflechte überzogen oder mit Haidekraut bedeckt ſind, und in denen ſich hier und da dunkle Wachholdergeſträuche erheben. Unſere Landſeen ſind von Kalmus, Rohr, Schilf und blattloſen Binſen eingefaßt, neben denen hier und da eine Schwertlilie mit ihren großen gelben Blumen prangt, oder an anderen Stellen mit geſellig wachſenden Winden beſetzt, zwiſchen denen prächtige Epilobien mit ihren großen, bläulichrothen Blüthentrauben emporragen. Doch nur während der Hälfte des Jahres erfreut ſich die Erde dieſer Vegetationsdecke. Im Herbſte entkleiden ſich die Bäume ihres Laubſchmuckes, nur die Miſtel grünt noch hin und wieder in den ſchattenloſen Kronen der Bäume. Der Winter bedeckt den Boden mit Schnee, die Seen und fließenden Gewäſſer mit Eis, und nur das dunkle Grün der Fichten und Tannen erinnert daran, daß die Vegetation nur ſchlummert. Dafür entwickelt aber auch die Natur in dieſer Zone bei ihrem erſten Erwachen im Frühlinge einen Reiz, der auf der ganzen Erde anderswo vergeblich geſucht wird.

6) Subarktiſche Zone von 58 bis $66^1/_2{}^0$ n. und ſ. Breite. Auf der nördlichen Halbkugel liegen hier Island, der größte Theil der ſkandinaviſchen Halbinſel, das nördliche Rußland, das mittlere Sibirien, das ruſſiſche Nordamerika, das brittiſche Gebiet im Nordweſten der Hudſonsbai und der ſüdlichſte Theil von Grönland; auf der ſüdlichen Halbkugel nur wenige unfruchtbare Inſeln.

Der Vegetationscharakter iſt ſehr einförmig. Laubhölzer kann man nur als Ueberläufer aus der vorigen Zone anſehen; die Nadelhölzer ſind entſchieden im Uebergewichte, und in den nördlichen Gebieten finden ſich nur noch Weiden, Espen, Ebereſchen und Birken als Begleiter derſelben. Niedrige Gräſer als Wieſen ſind auch hier noch charakteriſtiſch, doch nehmen die Halbgräſer entſchieden zu, eben ſo wie die Flechten, welche den dürren Boden überziehen, und die Mooſe, welche die Torfmoore bekleiden.

7) Arktiſche Zone von $66^1/_2$ bis 72^0 n. und ſ. Breite. Der nördliche Theil der ſkandinaviſchen Halbinſel nebſt Lappland, der Nordrand von Rußland und Sibirien und der des Feſtlandes von Nordamerika nebſt mehreren Inſeln liegen auf der nördlichen Halbkugel in dieſer Zone, auf der ſüdlichen die Küſtenſtriche des antarktiſchen Continents.

Die Birke bildet hier die Grenze der Baumvegetation; zwar treten noch einige Nadelhölzer, die Fichte und Tanne, ebenfalls auf, aber nur in Europa. Die Wieſen werden ſelten; dafür erſcheinen ungeheure Strecken mit dürren Flechten und Mooſen bekleidet, oder eine niedere Strauchvegetation überzieht den Boden. Dieſe Zone iſt die Grenze aller Cultur des Bodens, in Aſien und Amerika iſt dies jedoch ſtellenweiſe bereits in der vorigen Zone der Fall.

8) Polarzone von 72^0 bis zu den Polen. In derſelben liegen: Spitzbergen, Nowaja-Semlja, die Taimyrhalbinſel, Neu-Sibirien, die Nordgeorgiſchen Inſeln und der äußerſte Norden von Grönland.

Alle Länder dieſer Zone, welche von ihren Küſten aus meiſtentheils zu

bedeutenden Gebirgen emporſteigen, zeigen durchweg einen öden, traurigen Charakter. Bäume und Sträucher fehlen gänzlich, ja ſelbſt von den Halbſträuchern treten nur wenige Formen als krautartige Gewächſe auf. Der Sommer, der hier 4 bis 6, höchſtens 9 Wochen dauert, vermag nur die ſchnell ſich entwickelnden Alpenkräuter zur Blüthe zu bringen, von einer Cultur von Nahrungspflanzen aber iſt hier nirgends mehr die Rede. Wenn gleich die Thätigkeit der Natur in dieſen traurigen Gegenden noch nicht vollſtändig erſtorben iſt, ſo erſcheinen doch große Strecken theils wegen gänzlichen Mangels an Dammerde, theils wegen Waſſermangels völlig vegetationsleer. Nur wo der Felſen mit ſchwacher Erdkrume überzogen iſt, entwickeln ſich zur Sommerzeit die alpinen Pflanzenformen, wobei die genaue Uebereinſtimmung der Gewächſe dieſer Ländergebiete mit der Flora der höchſten Regionen der Berge beſonders intereſſant erſcheint, ſo groß auch die Entfernung der Berggipfel von der Polarzone ſein mag.

Alle natürlichen Verbreitungsbezirke der einzelnen Pflanzen verlaufen allmälig in ihre Nachbarbezirke, ſo daß die angegebenen Grenzlinien weder für alle Punkte der Erde, noch für alle Pflanzenformen als wirkliche Vegetationsſcheiden zu betrachten ſind. Auf die Einzelheiten in den verſchiedenen Zonen können wir hier nicht weiter eingehen; wir verweiſen deshalb wiederholt auf die bereits angeführten Schriften, namentlich auf die Zuſammenſtellung in Rudolph's Pflanzendecke der Erde, außerdem führen wir noch an: Berghaus, Grundriß der Geographie, Breslau 1843.

Mit der Erhebung über die Oberfläche des Meeres findet ein ähnlicher Pflanzenwechſel ſtatt wie in der Entfernung vom Aequator nach den Polen hin. Schon A. v. Humboldt theilte die Oberfläche der tropiſchen Gebirge in 3 Regionen ein: die heiße, gemäßigte und kalte, und deutete dabei auf die Unterabtheilungen hin. L. v. Buch und Wahlenberg haben dieſe Abſtufungen für verſchiedene Breitengrade näher zu beſtimmen geſucht. Meyen hat eine Eintheilung in 8 Regionen aufgeſtellt, welche den angeführten Zonen der Reihe nach entſprechen. In der Kürze ſind es folgende:

1) Region der Palmen und Bananen vom Meeresſpiegel bis zu 1900 Fuß Erhebung.
2) Region der Farrenbäume und Feigen von 1900 bis 3800 F.
3) Region der Myrten und Lorbeeren von 3800 bis 5700 F.
4) Region der immergrünen Laubhölzer von 5700 bis 7600 F.
5) Region der europäiſchen Laubhölzer von 7600 bis 9500 F.
6) Region der Nadelhölzer von 9500 bis 11400 F.
7) Region der Alpenroſen von 11400 bis 13300 F.
8) Region der Alpenkräuter von 13300 bis 15200 F.

Es bedarf kaum der Bemerkung, daß nur in der Aequatorialzone ſich alle 8 Regionen finden, und daß in jeder folgenden Zone eine Region weniger auftreten kann. Eben ſo verſteht es ſich von ſelbſt, daß die angegebenen Grenzen nicht ſcharf zu nehmen ſind; es treten oft Differenzen von 100 und mehr Fuß auf, namentlich rücken an den Südabhängen der nördlichen Halbkugel alle Vegetationsgrenzen höher hinauf als an den nördlichen. Iſt ja doch auch die Schneegrenze bei verſchiedenen Gebirgen derſelben Zone oft um einige 1000 Fuß verſchieden.

Digitized by Google

In Betreff des Thierreichs zeigt ſich eben ſo eine Abhängigkeit vom Boden und Klima, außerdem aber auch noch von der Pflanzenwelt, und demnach hat man eben ſo für jede Gegend eine beſondere Fauna wie Flora. Wir können dies hier nur kurz berühren und müſſen auf die größeren zoologiſchen Werke verweiſen, auch ſind die Vorbemerkungen zum Atlas von Berghaus zu vergleichen *).

In der heißen Zone findet ſich die größte Mannichfaltigkeit und Menge von Thieren; der prächtigſte Farbenſchmuck tritt hier auf; die Landthiere ſind die größten und vollkommenſten; nirgends finden ſich ſo viele, ſo ſtarke und gefährliche Raubthiere; eben ſo hauſen hier die giftigſten Schlangen.

In der gemäßigten Zone finden wir einen großen Reichthum an nützlichen Thieren, Hausthieren, am zahlreichſten und vollkommenſten im Süden. Die wild lebenden europäiſchen Thiere verſchwinden vor der Cultur.

Die kalte Zone beſitzt vorzugsweiſe Waſſerthiere, wenige Arten von Landthieren, meiſtens Pelzthiere. Als Hausthier finden wir nur das Rennthier und den Hund.

Im Gebirgslande leben vorzugsweiſe kräftig entwickelte, ſchlanke, muntere Thiere; im Sumpflande maſſenhafte, plumpe, ſchwerfällige. Bei den Landthieren ſcheinen vorzugsweiſe Temperatur-Verhältniſſe, von den Breitengraden abhängig, die organiſche Entwickelung genetiſch begünſtigt zu haben.

In Bezug auf die unorganiſche Rinde der Erde bemerken wir nur, daß dieſelbe gleichſam unabhängig iſt von klimatiſchen Einflüſſen; ſei es, daß der Unterſchied der Klimate nach Unterſchied der geographiſchen Breite neuer als das Geſtein iſt; ſei es, daß die erhärtende, wärmeleitende und wärmeentbindende Erdmaſſe ſich ſelbſt ihre Temperatur gab, ſtatt ſie von außen zu empfangen. Alle Formationen ſind daher allen Weltgegenden eigen, und in allen gleichgeſtaltet **). Wir verweiſen in dieſer Beziehung auf Art. Geologie.

Was endlich den Menſchen betrifft, ſo iſt gewiß, daß das Klima auf die körperliche Beſchaffenheit einen bedeutenden Einfluß ausübt, und ſtammen alle Menſchen von Einem erſten Menſchenpaare ab, ſo kann die Unterſchiedenheit der Racen und Völkerſtämme keine anderen als klimatiſche Urſachen haben. Ueber das Menſchengeſchlecht in ſeinen phyſiſchen Abſtufungen, in der geographiſchen Verbreitung ſeiner gleichzeitig vorhandenen Typen, in dem Einfluſſe, welchen es von den Kräften der Erde empfangen und wechſelſeitig, wenn gleich ſchwächer, auf ſie ausgeübt hat, verweiſen wir, da es uns hier zu weit führen würde, auf A. v. Humboldt's Schilderung ***) und auf Berghaus ****).

Wir heben nur noch Eins hervor, nämlich, daß gewiſſe Diſtricte von gewiſſen Krankheiten vornehmlich heimgeſucht ſind, welche ſich von da aus oft epidemiſch weiter verbreiten. Hautausſchläge ſind heimiſch in heißen Gegenden; der Weichſelzopf in der großen Tartarei, Siebenbürgen, Ungarn, Polen; Kakerlaken, Kretins, Albinos kommen in den engen Bergſchluchten, namentlich der Alpengebirge vor; das gelbe Fieber iſt heimiſch in heißen Gegenden, von wo es ſich

*) Atlas, Vorbemerk. Bd. II. S. 135 — 191.
**) A. v. Humboldt, Anſichten der Natur S. 17.
***) Kosmos. Bd. I. S. 378.
****) Atlas, Vorbemerk. Bd. II. S. 231.

mit abnehmender Heftigkeit auch nordwärts verbreitet; Aegypten eigenthümlich ſind Augenentzündungen und eine Krankheit, Demeljuja genannt, welche mit Augenentzündung und Kopfſchmerz beginnt, und leicht in Raſerei und Schlagfluß übergeht. Die Cholera endlich ſtammt aus Oſtindien und hat ſich von da bis zu uns fortgepflanzt. Wir haben, ähnlich wie die Cholera, nach und nach mehrere, ſonſt nicht bei uns heimiſche Krankheiten bekommen, welche, wie es ſcheint, bei uns bleibend immer mehr an ihrer peſtartigen Heftigkeit und Gefährlichkeit verlieren. So ſollen die Menſchenpocken aus dem Innern von Afrika, die Maſern (572) aus Aethiopien über Arabien und Aegypten, die Syphilis nach der Entdeckung von Amerika von dorther zu uns geſchleppt worden ſein. Eine Ueberſicht der geographiſchen Verbreitung der vornehmſten Krankheiten, denen der Menſch auf der ganzen Erde ausgeſetzt iſt, giebt Berghaus *). H. E.

Knallgas, ſ. Waſſerſtoff.

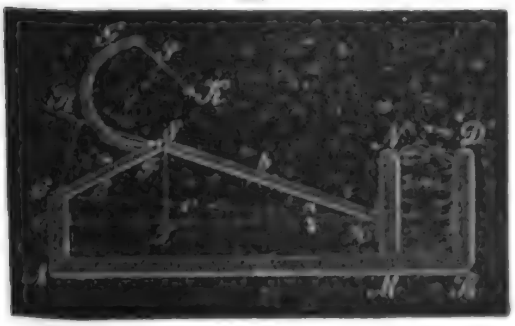
Knallſäure, ſ. Kohlenſtoff.

Kniepreſſe, Siegelpreſſe, auch Gelenke genannt, iſt eine einfache Maſchine, welche auf demſelben Principe beruht, welches bei der Bewegung des Knies zur Anwendung kommt. Durch beiſtehende Fig. I. wird dies am Anſchaulichſten werden. Es ſei AC ein in A drehbarer Hebel und in dem Punkte B deſſelben ſei ein zweiter BD gelenkartig angebracht, deſſen Endpunkt D mit dem Preßſtempel DE ebenfalls durch ein Gelenke verbunden iſt. Der Stempel DE läßt ſich nur längs der geraden Linie AF verſchieben, und wirkt nun in C auf AC eine Kraft K ſenkrecht, ſo wird der Punkt B der Linie AF genähert und D, wenn B bis B′ gekommen iſt, bis nach D′ fortgeſchoben, dadurch aber auch E nach E′ gedrängt und der zwiſchen EF befindliche Gegenſtand bis auf E′F zuſammengepreßt.

I.

Um die Wirkung der in C angebrachten Kraft beurtheilen zu können, wollen wir die Aufgabe allgemeiner ſtellen. Auf der feſten Unterlage AB (Fig. II.) ſeien AC und BD ſenkrecht befeſtigt, in C befinde ſich der Drehpunkt des Hebels CEFG, und in E eine Stange EH, welche mit ihrem Ende an den auf AB verſchiebbaren Körper (Preßſtempel) MN drückt, zwiſchen welchem und BD die zuſammenzudrückende Laſt liegt. Es ſei AC = b; CE = a; EH = b; HM = d; CH = c; das Perpendikel von C auf EH, alſo CR, = E_1; das auf die Kraft K in

II.



*) Atlas, Vorbemerk. Bd. II. S. 232.

G von C gefällte, alſo CS, $= E_k$; der auf MN in H ausgeübte Druck $= P$; ſo läßt ſich beweiſen, daß

$$P = \frac{K \cdot E^k}{a} \cdot \frac{\cos(\alpha + \gamma)}{\sin(\alpha + \beta)} \quad \ldots \quad (1)$$

und

$$P = \frac{K \cdot E_k}{c^2}\left(\frac{[c^2 + (b+a)(b-a)]\sqrt{(c+h-d)(c-h+d)}}{\sqrt{\Sigma}} - (h-d)\right) \ldots (2)$$

iſt, wo $\Sigma = s \cdot (s-2a)(s-2b)(s-2c)$ iſt, wenn $a+b+c$ mit s bezeichnet wird.

Bezeichnen wir $\sphericalangle$ EHC mit α, $\sphericalangle$ ECH mit β und $\sphericalangle$ CHO mit γ, wenn HO ſenkrecht auf AC ſteht, ſo iſt $K \cdot E_k = L \cdot E_l$, aber $E_l = a \cdot \sin(\alpha + \beta)$; und zerlegt man den nach EH thätigen Druck L in ET (ſenkrecht auf AB) und HT (parallel AB), ſo iſt nur HT zum Zuſammenpreſſen wirkſam, alſo $P = L \cdot \cos(\alpha + \gamma)$; folglich:

$$K \cdot E_k = \frac{P \cdot a \cdot \sin(\alpha + \beta)}{\cos(\alpha + \gamma)}, \text{ daher:}$$

$$P = \frac{K \cdot E_k}{a} \cdot \frac{\cos(\alpha + \gamma)}{\sin(\alpha + \beta)} \quad \ldots \quad (1)$$

Die Seiten des Dreiecks CEH ſind a, b und c; alſo iſt $\sin(\alpha + \beta) = \frac{1}{2ab}\sqrt{\Sigma}$ nach bekannten mathematiſchen Sätzen, und da $\sin\gamma = \frac{h-d}{c}$ und $\cos\gamma = \frac{\sqrt{c^2-(h-d)^2}}{c}$ iſt, ſo wird

$$\cos(\alpha+\gamma) = \frac{(b^2+c^2-a^2)\sqrt{c^2-(h-d)^2} - (h-d)\sqrt{\Sigma}}{2bc^2},$$

da $\cos(\alpha+\gamma) = \cos\alpha \cdot \cos\gamma - \sin\alpha \cdot \sin\gamma$ iſt;
folglich erhalten wir:

$$P = \frac{K \cdot E_k}{a} \cdot \frac{(b^2+c^2-a^2)\sqrt{c^2-(h-d)^2} - (h-d)\sqrt{\Sigma}}{2bc^2} \cdot \frac{2ab}{\sqrt{\Sigma}}$$

$$= \frac{K \cdot E_k}{c^2}\left(\frac{(b^2+c^2-a^2)\sqrt{c^2-(h-d)^2}}{\sqrt{\Sigma}} - (h-d)\right)$$

$$= \frac{K \cdot E_k}{c^2}\left(\frac{[c^2+(b+a)(b-a)]\sqrt{(c+h-d)(c-h+d)}}{\sqrt{\Sigma}} - (h-d)\right) \ldots (2)$$

Nehmen wir nun an, daß $h = d$ wird, z. B. C und H auf AB liegen, ſo wird

$$P = \frac{K \cdot E_k\,[c^2 + (b+a)(b-a)]}{c\sqrt{\Sigma}}\ ^*) \quad \ldots \quad (3)$$

Um dieſes Reſultat durch ein beſtimmtes Beiſpiel zu prüfen, wollen wir

*) Emsmann, Phyſikaliſche Aufgaben. Leipzig 1852. S. 53. Aufg. 13.

K = 30 Pfund; E_k = 48″; a = 3″; b = 10″ und c = 12″ ſetzen. Wir erhalten dann P = 217 Pfund. Denken wir nun die Laſt ſo weit zuſammengepreßt, daß c = 12″,8 wird; ſo ergiebt ſich P = 442 Pfund, ſo daß in dieſem Falle gegen den vorigen ſich die bedeutende Zunahme von 225 Pfund ergiebt. In dieſer Eigenſchaft, daß der Druck zunimmt, je mehr die Preßoperation fortſchreitet, beruht der entſchiedene Vorzug der Kniepreſſe vor den übrigen Preſſen in allen den Fällen, in welchen der Widerſtand immer mehr wächſt und nur ein geringes Eindringen des Stempels möglich iſt, z. B. bei Siegel- und Münzpreſſen.

Betrachten wir den in obiger Entwickelung gefundenen Werth (1):

$$P = \frac{K \cdot E_k}{a} \cdot \frac{\cos(\alpha + \gamma)}{\sin(\alpha + \beta)}$$

und bedenken wir, daß wenn h = d iſt, $\gamma = 0$ wird; ſo erhalten wir:

$$P = \frac{K \cdot E_k}{a} \cdot \frac{\cos \alpha}{\sin(\alpha + \beta)} \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Hieraus ſehen wir, daß das Längenverhältniß der Schenkel a und b ohne weſentlichen Einfluß iſt; vortheilhaft aber wird es ſein, a möglichſt kurz zu wählen. Ferner ergiebt ſich, daß die Wirkung wächſt, je kleiner α wird, da dann $\cos(\alpha + \gamma)$, weil γ conſtant iſt, und $\cos \alpha$ einen größeren, $\sin(\alpha + \beta)$ einen kleineren Werth erhält, zumal mit a auch β kleiner wird. Die Wirkung wird mithin um ſo bedeutender, je mehr a und b in dieſelbe Richtung kommen, da $\sin(\alpha + \beta) = \sin < CEH$ iſt.

Daß die Größe der Zuſammendrückung, alſo der Weg von MN, immer kleiner wird, je mehr ſich a und b der geraden Richtung nähern, oder je näher $< CEH$ 180° kommt, folgt von ſelbſt aus dem Satze der virtuellen Geſchwindigkeiten, da das Product aus dem Drucke der Kraft und dem Wege der Laſt eine conſtante Größe bleibt.

Als Beiſpiel von Kniepreſſen führen wir an, die in der Buchdruckerei gebräuchliche ſogenannte Hagar-Preſſe, eben ſo iſt die ſogenannte Packetpreſſe, mit deren Hülfe die Wollen- und Baumwollengarne für den Handel in kleinere Packete gebunden werden, eine Kniepreſſe; ferner gehören hierher die Preſſen, deren ſich die Buchbinder bedienen, um auf den Bücherdeckeln vertiefte Verzierungen hervorzubringen ꝛc.

In Betreff des Hiſtoriſchen hat Schuberth *) manche intereſſante Notizen geliefert, und über die Theorie der Kniepreſſe beſitzen wir eine ausführliche Abhandlung von Fechner **). H. E.

Knöpfe, iriſirende, ſ. Inflexion S. 67 ff.

Knoten heißen die ſcheinbaren Durchſchnittspunkte der Bahnen der verſchiedenen ſich bewegenden Himmelskörper. Gewöhnlich bezieht man ſie auf die Ekliptik, ſo daß hiernach die Knoten diejenigen Punkte ſind, in welchen die Planeten, Kometen und ebenfalls der Mond durch die Ebene der Erdbahn hindurch

*) Pogg. Ann. Bd. XLII. S. 330.
**) Pogg. Ann. Bd. XLI. S. 501.

gehen. Man unterscheidet den aufsteigenden und den niedersteigenden Knoten; jener, für welchen man das Zeichen ☊ (Drachenkopf) gebraucht, ist der Durchgangspunkt, von dem ab der Weltkörper sich nördlich von der Ekliptik entfernt, dieser, für welchen man das Zeichen ☋ (Drachenschwanz) gebraucht, ist dagegen der Durchgang, von dem ab der Weltkörper auf die Südseite der Erdbahn übergeht, sich also südlich entfernt. Auf der scheinbaren Himmelskugel, auf welcher die Himmelskörper als in derselben Kugelfläche sich bewegende erscheinen, sind die Bahnen derselben größte Kreise, und ihre Knoten erscheinen als die Durchschnittspunkte dieser größten Kreise der Kugel mit der Ekliptik. Verbindet man die beiden Knoten eines Planeten oder Kometen, so geht diese Linie durch die Sonne, und sie wird die Knotenlinie genannt. Da die Lage der Ebenen, in welchen sich die Himmelskörper bewegen, nicht ganz unveränderlich ist, sondern sich — wenn auch wenig und langsam — ändert, so sind auch die Knotenlinien nicht unveränderlich. Am schnellsten geht diese Verrückung der Knoten bei dem Monde vor sich, so daß die Knoten desselben im Laufe von 19 Jahren durch alle Zeichen des Thierkreises und zwar rückwärts, d. h. vom Stier zum Widder, vom Widder zu den Fischen ꝛc. fortrücken. (Vergl. Art. Mond.) Die Bahnen der Planeten schneiden sich zwar nicht wirklich, weil sie in verschiedenen Entfernungen um die Sonne sich herumbewegen; doch nennt man die gemeinschaftliche Durchschnittslinie je zweier Bahnen auch Knotenlinie. Ueber die Möglichkeit, ob die Knoten zweier Himmelskörper in den Durchschnittspunkten zweier Bahnen selbst, nicht blos der Bahnebenen, liegen können, und die dadurch mögliche Collision zweier Himmelskörper verweisen wir auf den Art. Kometen, wo die größere oder geringere Wahrscheinlichkeit des Zusammenstoßes der Erde mit einem Kometen ihre Erledigung findet. H. E.

Knotenlinien, s. Schall.

Knotenmonat, s. Monat.

Koaks, s. Kohlenstoff und Heizung.

Kobalt (Cobaltum). Chem. Zeichen = Co. Aequiv. = 368,65 (O = 100) oder 29,539 (H = 1). Gediegen kommt das Kobalt nur im Meteoreisen in kleiner Menge (0,2 bis 1 Proc.) mit Eisen und Nickel verbunden vor. Hauptsächlich finden wir es in der Natur als Verbindungen mit Arsenik und Schwefel. Die wichtigsten Erze sind der Speiskobalt (Co As) bei Schneeberg und Annaberg in Sachsen, Joachimsthal in Böhmen und Riechelsdorf in Kurhessen und der Kobaltglanz ($Co As + Co S^2$) bei Tunaborg in Schweden, Skutterud in Norwegen, Siegen in Westphalen und Querbach in Schlesien vorkommend. Weniger häufig sind der Kobaltkies ($Co^2 S^3$ oder Co S, $Co^2 S^3$), das Hartkobalterz oder Tesseralkies ($Co^2 As^3$), die Kobaltblüthe (wasserhaltiges arsenikfaures Kobaltoxydul), rother (arsenigfaures Kobaltoxydul) und brauner Erdkobalt (wasserhaltiges arsenikfaures Kobaltoxydul, Eisenoxyd und Kalk), Kobaltschwärze oder schwarzer Erdkobalt (Kobaltoxydul, Manganfuperoxyd und Waffer) und Kobaltvitriol (schwefelfaures Kobaltoxydul). Die fauerstoffhaltigen Verbindungen sind wohl erst durch Einwirkung der Atmosphäre aus den zuerst genannten Erzen entstanden. Auch in den Selenmineralien des Harzes kommt Kobalt vor. Nach Mazade *) sollen die

*) Compt. rend. T. XXXIV. p. 479.

Mineralwäſſer von Nérac kleine Mengen Kobalt enthalten und Oſſian Henry*) hat daſſelbe in mehreren Eiſenwäſſern gefunden.

Als gegen Ende des 15. Jahrh. ſächſiſche Bergleute die Kobalterze auffanden, wußte man ſie nicht zu benutzen und weil ſie glaubten, der Berggeiſt (Kobold) habe um ſie zu necken dieſe ſchweren und metallglänzenden Erze, die viel verſprachen, aber doch als unnütz bei Seite geworfen wurden, durch ſie auffinden laſſen, tauften ſie ihren Fund mit dem Spottnamen, den das Metall heute noch trägt. Letzteres wurde zuerſt von Brandt 1733 dargeſtellt; jedoch nur im unreinen Zuſtande. Die Darſtellung des reinen Kobalt iſt eine ſehr ſchwierige Operation, weil daſſelbe in den Erzen meiſtens theilweiſe durch iſomorphe Metalle (Eiſen, Nickel, Mangan) vertreten iſt und außerdem nicht ſelten noch Wismuth, Kupfer-, Blei- und Silbererze mit beigemengt ſind, die alle nur auf chemiſchem Wege getrennt werden können. Beſondere Schwierigkeiten macht die Entfernung des Arſeniks und des Nickels.

Zur Darſtellung des Kobalts im Großen empfiehlt ſich beſonders die Methode von Liebig **), nach der man ein arſenik- und eiſenfreies Oxyd erhält. Das fein gemahlene und auf das Sorgfältigſte geröſtete Erz ſchmilzt man mit 3 Th. ſaurem ſchwefelſauren Kali ſo lange, bis keine weißen Dämpfe mehr aufſteigen. Setzt man der ſchmelzenden Maſſe geglühten Eiſenvitriol hinzu, ſo kann man alles Kobalt in Verbindung mit Schwefelſäure durch heißes Waſſer ausziehen. Aus der Auflöſung fällt man durch kohlenſaures Kali das Kobalt als kohlenſaures Salz. Die Flüſſigkeit enthält ſchwefelſaures Kali, das durch Abdampfen wieder gewonnen und in ſaures Salz verwandelt immer wieder von Neuem verwendet werden kann. Antimon, Wismuth und Kupfer, die in dem kohlenſauren Kobaltoxydul noch enthalten ſein können, werden leicht durch Schwefelwaſſerſtoff entfernt. Nach Louyet ***) aber zerſetzt ſich das ſchwefelſaure Eiſenoxyd bei Gegenwart von ſchwefelſaurem Kobaltoxydul nur ſehr ſchwierig, ſo daß man nicht immer eine von Eiſen freie Löſung des Kobaltſalzes erhält. Die Verunreinigung durch Eiſen kann man ſehr leicht entfernen, wenn man der Löſung friſch gefälltes Kobaltoxydulhydrat hinzuſetzt und eine Zeit lang kocht. Dadurch wird das Eiſen als Oxydhydrat niedergeſchlagen und das Kobalt geht in die Löſung.

Das Metall kann man aus den Oxyden durch Reduciren mittelſt Kohle erhalten; jedoch nimmt das Kobalt hierbei Kohle auf. Rein erhält man das Metall durch Glühen des oxalſauren Kobaltoxyduls bei Ausſchluß der Luft als eine ſchwammige oder pulverige Maſſe, die unter einer Decke von metallfreiem Glaspulver in einem Gebläſeofen zu einem Regulus geſchmolzen werden kann. Das Metall beſitzt eine röthlich weiße, ſtahlgraue Farbe, iſt hart, ſpröde (beſonders wenn noch fremde Körper darin) und auf dem Bruche körnig. Specifiſches Gewicht 8,513 — 8,65. Bei gewöhnlicher Temperatur widerſteht es der Einwirkung der Luft, in der Glühhitze aber entzündet es ſich und verbrennt mit rother Flamme. Waſſer wird in der Glühhitze durch das Metall zerſetzt. Es wird vom

*) Journ. de Pharm. et de Chim. 3. Sér. T. XXIV. p. 305.
**) Pogg. Ann. Bd. XVIII. S. 464.
***) L'Institut. T. XXI. p. 206.

Magnet angezogen, selbst wenn es frei von Eisen ist, bei einem geringen Gehalt an Arsenik aber ist das Kobalt nicht magnetisch. Faraday hat in neuerer Zeit seine Behauptung, daß der Magnetismus des Kobalts von einem Gehalt an Eisen herrühre, zurückgenommen *). Er führt an, daß das Kobalt durch einen elektrischen Strom leicht dahin gebracht werden kann, mehr als sein eigenes Gewicht zu tragen. Den durch einen Magneten ertheilten bleibenden Magnetismus verliert das Kobalt erst bei weit höherer Temperatur als das Eisen. In verdünnten Säuren löst sich Kobalt nur in der Wärme und auch dann nur langsam auf; in Salpetersäure jedoch schneller. An Kobalt, das zu Draht ausgezogen war, beobachtete Nicklès **) ein dem passiven Eisen gleiches Verhalten, d. h. die geringe Oxydirbarkeit in Berührung mit rauchender Salpetersäure. Diese Passivität dauert nur kurze Zeit, sie kann aber dauernd gemacht werden, wenn man den in einer Flamme blau angelaufenen Draht noch heiß in die Säure bringt. Die Auflösungen des Kobalts zeigen eine schön rothe Farbe. Aus ihnen wird das Kobalt nur durch Zink und Cadmium reducirt, jedoch auch nicht vollständig. Mit Quecksilber liefert es ein Amalgam. Nach Völker ***) ist Kobalt die Ursache der rothen Färbung der Manganoxydulsalze; ja er will sogar in manchen Braunsteinen so viel Kobalt gefunden haben, daß es vielleicht nicht unvortheilhaft wäre, dasselbe daraus zu gewinnen.

Von den Verbindungen des Kobalts mit Sauerstoff ****) führen wir nur das Oxydul (Co O) und das Oxyd ($Co^2 O^3$) an. Das Oxydul wird durch Wasserstoff reducirt; das fein zertheilte Metall entzündet sich aber an der Luft, wenn die Reduction unter der Rothgluth ausgeführt worden ist (cf. Bd. II. S. 616). Es ist ein olivengrünes Pulver, das sich in Säuren, Ammoniak und kohlensaurem Ammoniak mit rother Farbe auflöst. Durch Glühen von Kobalt an der Luft erhält man das Oxydul nicht rein; bei Ausschluß der Luft erhält man es rein aus dem Hydrat oder der kohlensauren Verbindung. Die Kobaltoxydulsalze *****) besitzen im wasserfreien Zustande eine blaue, mit Wasser verbunden meistens aber eine rothe Farbe. Zu erwähnen ist das salpetersaure Kobaltoxydul, dessen man sich vor dem Löthrohre häufig als Reagens bedient. Talkerde wird dadurch schwach

*) Phil. Mag. 3 sér. Vol. XXVII. p. 1.

**) Compt. rend. T. XXXVII. p. 284.

***) Liebig's Ann. Bd. LIX. S. 31.

****) Literatur: Winkelblech, über die Kobaltoxyde und ihre Salze, Journ. f. prakt. Chem. Bd. VI. S. 62. — Heß, über das Kobalthyperoxyd ($CoO + C^3 O^3$), Pogg. Ann. Bd. XXVI. S. 542. — Lampadius, über die Verfälschung der Kobaltsaflore oder Zaffer — im Handel vorkommende, unreine Kobaltoxyde — und deren technisch-chemische Prüfung, Journ. f. prakt. Chem. Bd. XIII. S. 385. — Beety, über die Oxyde des Kobalts und einige Verbindungen derselben, Pogg. Ann. Bd. LXI. S. 472. — H. Rose, über die Verbindungen, welche durch Glühen des Kobaltoxyds an der Luft entstehen, Pogg. Ann. Bd. LXXXIV. S. 559. — Frémy, Untersuchungen über das Kobalt, Ann. de Chim. et de Phys. T. XXXV. p. 257.

*****) H. Rose, über die Verbindungen der Kohlensäure und des Wassers mit dem Kobaltoxyd, Pogg. Ann. Bd. LXXXIV. S. 547. — Genth, über gepaarte Kobaltverbindungen, Nordamerikanischer Monatsbericht von Keller und Tiedemann. Bd. II. S. 8, auch chem. pharm. Centralblatt 1851. S. 417. — Claudet, über eine Klasse ammoniakalischer Verbindungen des Kobalts, Journ. f. prakt. Chem. Bd. LIV. S. 270. — Rogojski, über einige neue Kobaltverbindungen, Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVI. S. 491. — Gregory, Liebig's Ann. Bd. LXXXVII. S. 188.

roſenroth, Thonerde ſchön blau, Zinkoxyd zeiſig grün, Zinnoxyd blaugrün, Antimonoxyd ſchmutzig grün, Titanſäure gelblich grün (jedoch nicht ſo ſchön wie Zinkoxyd) und Zirkonerde ſchmutzig violet gefärbt.

Obgleich das Kobaltoxyd ($Co^2 O^3$), auch Sesquioxyd genannt, ähnlich zuſammengeſetzt iſt wie die Oxyde des Eiſens und Chroms, ſo unterſcheidet es ſich doch dadurch von ihnen, daß es nur in einem geringen Grade fähig iſt Salze zu bilden. Das Hydrat wird zwar von den ſtärkeren Säuren leicht aufgelöſt, aber in der Wärme und im Sonnenlicht entwickelt ſich ſehr bald Sauerſtoff, ſo daß in der Löſung nur ein Oxydulſalz vorhanden iſt. Nach Beety verhält ſich das Kobaltoxyd den ſtärkeren Baſen gegenüber als eine ſchwache Säure.

Aus den Verbindungen des Kobalts mit einem der übrigen Elemente heben wir das Chlorkobalt heraus. Wie die Oxydulſalze beſitzt die Löſung deſſelben eine ſchöne rothe Farbe, dampft man ſie aber ein, ſo tritt eine blaue Farbe hervor. Aus dieſem Grunde benutzt man eine verdünnte, faſt farbloſe Löſung von Chlorkobalt als ſympathetiſche Tinte. Schreibt man damit auf Papier, ſo ſind die Schriftzüge nach dem Trocknen unſichtbar, beim Erhitzen aber treten ſie deutlich mit blauer Farbe hervor.

Am leichteſten weiſt man die Gegenwart des Kobalts durch das Löthrohr nach. Die Borax- und Phosphorſalzperle werden noch durch äußerſt geringe Mengen deſſelben blau gefärbt. Auf naſſem Wege erkennt man das Kobalt durch folgende Reactionen: in ſauren Löſungen entſteht durch Schwefelwaſſerſtoff kein Niederſchlag, wohl aber durch Schwefelammonium ſogleich ſchwarzes Schwefelkobalt (Co S). Iſt der Niederſchlag einmal entſtanden, ſo löſt er ſich nicht leicht in Säuren mit Ausnahme von Königswaſſer auf und dadurch unterſcheidet er ſich vom Schwefeleiſen. Kali bewirkt in Kobaltlöſungen anfangs eine blaue Fällung (ein baſiſches Salz, das durch Sauerſtoffaufnahme eine grüne Farbe annimmt). Kocht man den Niederſchlag, ſo geht er in Kobaltoxydulhydrat über; die blaßrothe Farbe deſſelben erſcheint durch das ſich hierbei bildende Oxyd ziemlich ſchmutzig. Sind hinreichende Mengen von Ammoniakſalzen in der Löſung vorhanden, ſo erhält man durch Kali keinen Niederſchlag und dadurch unterſcheidet ſich das Kobalt vom Nickel. Ammoniak verhält ſich ähnlich; der blaue Niederſchlag wird aber durch einen Ueberſchuß des Fällungsmittels mit braunrother Farbe aufgelöſt, die an der Luft nach und nach in eine rothe übergeht. Bei Gegenwart von Ammoniakſalzen oder in ſauren Löſungen, wo ſich dieſe bilden, entſteht gleichfalls kein Niederſchlag.

Seit dem 16. Jahrh. bedient man ſich des Kobalts bei der Darſtellung des blauen Glaſes und der blauen Farben auf Porzellan, Steingut ꝛc. Zu ähnlichen Zwecken iſt es bereits von den Griechen und Römern benutzt worden. Ein durch Kobalt blau gefärbtes Glas kommt unter den Namen Königsblau, Eſchel, Smalte oder Streublau in großer Menge in den Handel. Bei ſeiner Darſtellung benutzt man geröſtete Kobalterze, die mit Quarz und Pottaſche zuſammen geſchmolzen werden. Hierbei ſcheiden ſich die fremden, in den Kobalterzen enthaltenen Metalle (Nickel, Kupfer, Silber, Wismuth) und das Arſenik als Regulus am Boden des Tiegels aus (Kobalt- oder Nickelſpeiſe). Je mehr Kobalt die Smalte enthält, um ſo ſchöner iſt die Farbe; Nickeloxydul beeinträchtigt letztere jedoch bedeutend, und deshalb iſt es von Wichtigkeit alles Nickel beim Schmelzen als Speiſe abzuſcheiden. Dies geſchieht, wenn hinreichend Arſenik vorhanden iſt. Deshalb röſtet

man die Kobalterze nur unvollſtändig. Ein ſicheres Zeichen, daß die Smalte frei von Nickel iſt, giebt das Vorkommen kleiner Mengen Kobalt in der Speiſe ab, weil Arſenkobalt und Nickeloxyd, ſobald ſie in der geſchmolzenen Maſſe zuſammentreffen, ſich gegenſeitig zerſetzen; es bildet ſich Arſennickel, das ſich abſcheidet und Kobaltoxydul.

Die Smalte wird in großen Mengen verbraucht, um den gelben Schein des Papieres und der Wäſche zu vermindern. Man bleicht hier alſo ſo zu ſagen auf phyſikaliſchem Wege, durch Benutzung der Eigenſchaft der complementären Farben ſich gegenſeitig zu Weiß aufzuheben. Dies hat Haumené nachgewieſen durch Miſchen einer rothen Kobaltoxydulſalzlöſung mit einer grünen Nickeloxydulſalzlöſung und dadurch einen neuen Beweis von dem innigen Zuſammenhange der phyſikaliſchen und chemiſchen Eigenſchaften der Körper geliefert, indem Wagner *) gefunden hat, daß genau gleiche Aequivalente beider Salze nothwendig ſind, wenn die Farben verſchwinden ſollen.

In der Papierfabrikation hat die Smalte jedoch einen gefährlichen Gegner in dem künſtlichen Ultramarin gefunden, weil deſſen Farbe bedeutend ſchöner und der Preis dennoch geringer iſt. Zudem hat das Smalte enthaltende Papier die ſchlechte Eigenſchaft, die Feder, mit der man darauf ſchreibt, ſehr bald ſtumpf zu machen. Der Grund davon liegt in der ſehr bedeutenden Härte der Smalte. In der Regel enthält ſie geringe Mengen von Arſenſäure oder arſeniger Säure und daher verbreitet das Papier, welches Smalte enthält, beim Verbrennen den charakteriſtiſchen und bekannten Arſengeruch.

Weiter wird das Kobalt in großen Mengen noch zur Darſtellung von Farben benutzt. Thénard's Blau iſt eine ſehr ſchöne, beſtändige, aber auch theure Farbe, die lange Zeit als Surrogat für das ächte Ultramarin diente. Das eigentliche Thénard'ſche Blau, in der Farbe das ſchönſte, erhält man durch Erhitzen von Thonerdehydrat mit arſen- oder phosphorſaurem Kobaltoxydul. Die Zeit und der Grad der Erhitzung, ſo wie der Gehalt an Kobalt bedingen den Ton der Farbe; damit er nicht beeinträchtigt werde, müſſen die Materialien frei von Eiſen und Nickel ſein; das erſtere iſt jedoch wohl nicht ſo ſchädlich, wie man allgemein glaubt. Der Vorſchriften giebt es ſehr viele. Andere blaue Farben (Leithner's **) oder Leydner Blau) ſtellt man dar, indem man eine Auflöſung von eiſenfreiem Alaun mit einer Kobaltauflöſung miſcht und dann mit kohlenſaurem Alkali fällt. Der Niederſchlag wird ſorgfältig ausgewaſchen, getrocknet und dann in einem Tiegel geglüht. Nach Louyet ***) muß man hier eine bedeutend höhere Temperatur anwenden, als beim eigentlichen Thénard'ſchen Blau, wenn die Operation glücken ſoll. Nach ihm wird die Verbindung der Thonerde mit

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXI. S. 129.

**) Heißt wohl richtiger Geitner's Blau, da der Dr. Geitner in Schneeberg (die Wiege und noch jetzt der Hauptſitz der Kobaltdarſtellung in Deutſchland) zuerſt ungefähr um das Jahr 1818 Kobaltultramarin im Großen darſtellte. Wenige Jahre darauf wurde dieſe Farbe auch in den ſächſiſchen Blaufarbenwerken bereitet, während früher nur Smalte hier angefertigt wurde. Schon bald nach der Mitte des vorigen Jahrhunderts ſoll ein praktiſcher Chemiker, Müller in Löſnitz bei Schneeberg, die Bereitung des Ultramarins aus Kobaltoxydhydrat und Thonerde entdeckt haben und von dieſem eben war die Vorſchrift dazu an Geitner verkauft.

***) L'Institut T. XXI. p. 206, auch Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLVII. S. 402.

dem Kobaltoxydul, alſo das Entſtehen der blauen Farbe, ſehr durch die Gegenwart einiger Säuren begünſtigt. So erklärt er den Umſtand, daß die Darſtellung des Thénard'ſchen Blau ſehr oft mißglückt iſt, wenn man nicht arſen- oder phosphorſaures Kobaltoxydul angewendet hatte. Oder man befeuchtet Thonerdehydrat mit einer Löſung von ſalpeterſaurem Kobaltoxydul, trocknet und glüht das Gemenge. Alle dieſe Farben führen auch den Namen Kobaltultramarin. Auf der Münchner Induſtrieausſtellung zeichneten ſich beſonders die Kobaltultramarine aus Kurheſſen durch ihre Schönheit aus. In allen dieſen Verbindungen vertritt die Thonerde die Stelle der Säure.

So ſchön das Anſehen dieſer Farben im Tageslichte auch iſt, ſo erſcheinen ſie doch bei Kerzenlicht ſchmutzig violet. Dieſer Umſtand und der theure Preis haben bewirkt, daß das künſtliche Ultramarin auch den Kobaltultramarinen bereits ſehr gefährlich geworden iſt. Dadurch ſind die Blaufarbenwerke ſehr beeinträchtigt und eine neue Verwendung des Kobalts zu einer ſchönen gelben Farbe, die der des Jaune indien gleicht und vorzüglich für Oel- und Aquarellmalerei zu empfehlen iſt, kann jenen Verluſt nicht ausgleichen. Dieſe neue Farbe iſt das von Fiſcher *) zuerſt dargeſtellte ſalpetrigſaure Kobaltoxydulkali. Saint-Evre hat ſpäter **) dieſes intereſſante Salz genauer ſtudirt. Nach ihm kann man es auf verſchiedene Art darſtellen: 1) durch Fällen mittelſt ſalpetrigſaurem Kali aus einer mit Salpeterſäure verſetzten, concentrirten Löſung des ſalpeterſauren Kobaltoxyduls. 2) Wenn man das durch Kali aus einer Löſung von ſalpeterſaurem Kobaltoxydul gefällte blaue baſiſche Salz mit einem geringen Ueberſchuß von ſalpetrigſaurem Kali mengt und nun mittelſt einer Pipette einen dünnen Strahl von Salpeterſäure darauf fallen läßt. 3) Wenn man einer Löſung von ſalpeterſaurem Kobaltoxydul nur wenig überſchüſſiges Kali hinzuſetzt, ſo daß roſenrothes Kobaltoxydulhydrat niederfällt und in das Magma (Bodenſatz) Stickſtofforydgas leitet. Der letztere Verſuch ſoll ſo deutlich und beſtimmt ſein, daß er zu einem Vorleſungsverſuch paſſend ſei. Für die Zuſammenſetzung dieſes Salzes giebt Saint-Evre folgende Formel: 2 (N^2O^3, CoO, KO) HO.

Eine andere Farbe, die in dem Handel vorkommt und zu der gleichfalls Kobalt verwendet wird, iſt das Riemann'ſche Grün, auch grüner Zinnober genannt. Bei der Bereitung miſcht man eine eiſenfreie Zinkvitriollöſung mit der Löſung eines reinen Kobaltoxydulſalzes, fällt durch kohlenſaures Kali, wäſcht den Niederſchlag aus und glüht denſelben. W. P.

Kochſalz, ſ. Natrium.

Königswaſſer, ſ. Chlor.

Kohle, ſ. Kohlenſtoff.

Kohlenſäure, ſ. Kohlenſtoff.

Kohlenſtoff, Carboneum, franz. Carbone, engl. Carbon. Chemiſches Zeichen = C. Aequivalent = 75,12 (O = 100) oder 6,019 (H = 1). Ein einfacher, nicht metalliſcher Körper, der zuerſt als ſolcher von Lavoiſier 1781 erkannt wurde. Der Kohlenſtoff findet ſich, wenn auch nicht rein, in der Natur weit verbreitet und zwar in verſchiedenen Zuſtänden kryſtalliſirt und amorph.

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIV. S. 124.
**) Compt. rend. T. XXXIII. p. 166. u. T. XXXV. p. 552.

Dieſe ſind: der Diamant (ſ. d. Art.), Graphit und die gewöhnliche Kohle, wie ſie namentlich beim Holz zurück bleibt, wenn es bei Ausſchluß der Luft erhitzt wird. Berzelius bezeichnet dieſe verſchiedenen allotropiſchen Zuſtände mit den griechiſchen Buchſtaben α, β und γ. Sorby hat dagegen in neuerer Zeit einen Tetramorphismus des Kohlenſtoffs aufgeſtellt *). Als die vier verſchiedenen Modificationen deſſelben betrachtet er: 1) den Diamant (regulär, Grundform Octaëder), 2) den Graphit (hexagonal), 3) harte Koks (regulär, Grundform Würfel) und 4) Anthracit (quadratiſch). Er giebt an, daß die Kryſtallformen der beiden letzteren oft kenntlich ſeien, wenn man die Subſtanzen mit etwas Kreide fein pulvere, das Pulver durch Behandeln mit Säure von der Kreide wieder befreie und den Rückſtand dann unter ein Mikroſkop bringe. Holzkohle und Kienruß gehören nach Sorby wahrſcheinlich zu der Anthracitmodification.

In großer Menge findet ſich der Kohlenſtoff in den Steinkohlen, den Braunkohlen und dem Torfe, ſo wie er auch zu den wenigen Elementen gehört, aus denen die große Zahl der organiſchen Körper (Pflanzen und Thiere) gebildet werden. Die ſogenannte ſchwarze Kreide (Zeichnenſchiefer) erhält ihre abfärbende Eigenſchaft durch einen Gehalt von Kohle, der in der, welche im Bayreuthiſchen gefunden wird, $17\frac{1}{2}$ Proc. beträgt. Auch in den Meteorſteinen kommt Kohle vor.

Der Graphit (Waſſerblei, Reißblei, plombagine, plumbago) findet ſich in Gängen im Ur- und Uebergangsgebirge, namentlich im Granit, Gneiß und Kalk. Beſondere Fundſtätten deſſelben ſind: Borrowdale in Cumberland, Paſſau, Marburg, Yps; außerdem findet er ſich in Oeſterreich, Mähren und Spanien. Der Graphit von Borrowdale war ſehr berühmt; doch jetzt ſind die dortigen Gruben faſt ganz erſchöpft und die geringe Ausbeute iſt noch dazu von ſo ſchlechter Beſchaffenheit, daß der Cumberland-Graphit ſeinen alten Ruf ganz verloren hat. Jetzt wird ſogar aus Deutſchland Graphit in England eingeführt. In neuerer Zeit ſind auf Ceylon und am Himalaya Lager eines vorzüglich reinen Graphites entdeckt.

Nicht immer kommt der Graphit kryſtalliſirt (ſechsgliedrig) vor; man findet ihn auch in dichten Maſſen. Die Farbe iſt eiſenſchwarz bis dunkelſtahlgrau; er beſitzt einen Metallglanz und verbrennt, ſelbſt im Sauerſtoffſtrom viel ſchwieriger als der Diamant. Das ſpecifiſche Gewicht variirt zwiſchen 1,8 bis 2,09. Der Graphit iſt ein beſſerer Leiter der Wärme, als der Diamant und ein guter Leiter der Elektricität, weshalb er auch in der Galvanoplaſtik zum Ueberziehen der Formen aus nicht leitenden Stoffen verwendet wird. Der natürliche Graphit iſt mehr oder weniger verunreinigt, hauptſächlich durch Kieſelſäure, Thonerde und Eiſen. So hinterläßt z. B. der Cumberland-Graphit beim Verbrennen 13,1 Proc. Aſche; Regnault fand in einem deutſchen Graphit nur 5,73 Proc. Aſche. Das Verbrennen des Eiſens gab früher zu der Anſicht Veranlaſſung, daß der Graphit ein Kohleneiſen ſei, obgleich ſchon Scheele die Unrichtigkeit dieſer Annahme dargethan hatte. Berthier und Karſten haben ferner gezeigt, daß das Eiſen im orydirten Zuſtande im Graphit enthalten iſt und daher kann von einer Verbindung beider keine Rede ſein. Eben ſo hat Seſſtröm durch directe Verſuche

*) Edin. Phil. Journ. Vol. L. p. 149. Liebig's Jahrb. 1851. S. 307.

nachgewieſen, daß der Graphit reine Kohle iſt. Aus Graphit, der nicht zu ſehr verunreinigt iſt, läßt ſich durch Kochen mit Salzſäure und Königswaſſer, durch Schmelzen mit Kalihydrat und Erhitzen in einem Strome von Chlorgas das Eiſen vollſtändig und die Kieſelſäure bis auf etwa $^1/_2$ Proc. entfernen. Nach Rogers*) wird der Graphit durch chromſaures Kali und Schwefelſäure zu Kohlenſäure oxydirt und auf dieſe Art der Kohlenſtoff darin quantitativ beſtimmt.

Beim Hohofenbetrieb ſcheidet ſich oft der Kohlenſtoff aus dem Roheiſen als Graphit aus; mitunter in ſchönen heragonalen Tafeln, aber nicht immer ſo rein, daß beim Verbrennen keine Aſche zurückbleibt. Oft erhält man hier auch den Graphit in haarförmigen Gebilden. Auch in den Spalten und Höhlungen der Wände der Hohöfen ſetzt ſich zuweilen Graphit ab und deshalb glaubt Regnault**), daß der in der Natur vorkommende Graphit ſich aus gasförmigen Verbindungen in den Spalten und Höhlungen der erhitzten Gebirge abgelagert habe. Eben ſo bildet ſich Graphit, wenn man Steinkohlengas über glühendes Eiſen leitet. Hierbei erhielt Macintoſh den Graphit in glänzenden und biegſamen Fäden, die in einer Länge von einem Zoll und darunter bis zu acht Zoll und in der Dicke eines Pferdehaares bis zu der des feinſten Spinnenfadens parallel in Büſcheln neben einander lagen. Ja einige Fäden waren ſo zart, daß, wie Colquhoun ſich ausdrückt, eine einzige Locke dieſes mineraliſchen Haares wohl aus tauſenden derſelben beſtand. In den Retorten, die zur Darſtellung des Leuchtgaſes dienen, ſcheidet ſich bei der Berührung des Gaſes mit dem glühenden Eiſen der Kohlenſtoff gleichfalls als Graphit aus, und oft beſitzt er ſolche Härte, daß er am Stahl Funken giebt.

Man verwendet den Graphit hauptſächlich zu Bleiſtiften, die theils aus den größeren Stücken direct geſchnitten, theils aus Pulver mit Hülfe eines Bindemittels (Thon) oder durch bloßen Druck (von 20000 Ctr.) verfertigt werden; ferner zur Darſtellung von Schmelztiegeln, als Anſtrich bei Eiſen (namentlich Oefen) und zur Verminderung der Reibung bei Maſchinen.

Ueber Steinkohlen, Braunkohlen und Torf ſiehe den Art. Heizung.

Die künſtliche Darſtellung von Kohle aus verſchiedenen pflanzlichen oder thieriſchen Stoffen bildet einen wichtigen Zweig unſerer Induſtrie. Beabſichtigt man bei dieſer Zerſetzung der verſchiedenartigſten organiſchen Verbindungen durch die Hitze bei Ausſchluß der Luft vornehmlich die Gewinnung von Kohle, ſo nennt man den Proceß Verkohlung, trockne Deſtillation aber, wenn es mehr auf eine Gewinnung der hierbei gleichzeitig entſtehenden flüchtigen Producte abgeſehen iſt. Auch bei dem letzteren Vorgange bleibt in der Regel Kohle im Rückſtande, weil ſie in der urſprünglichen Verbindung im Ueberſchuß vorhanden war, d. h. es war darin nicht ſo viel Waſſerſtoff und Sauerſtoff zugegen, um mit der ganzen Menge des Kohlenſtoffs flüchtige Verbindungen bilden zu können. Je nach den Subſtanzen, aus welchen die Kohle erzeugt worden iſt, treten ſowohl in dem äußern Anſehen, als auch in den Eigenſchaften bedeutende Unterſchiede auf. In Bezug auf erſteres unterſcheiden wir eine matte, höchſt poröſe und eine glänzende, blaſige,

*) Sill. amer. Journ. ser. 2. Vol. V. p. 352. Journ. für prakt. Chemie. Bd. L. S. 411.

**) Journ. f. pratt. Chem. Bd. XIII. S. 88.

weit weniger poröſe Kohle. Erſtere bleibt bei Subſtanzen zurück, die in der Hitze nicht ſchmelzen. Sie zeigt die Structur der Subſtanzen, aus denen ſie gewonnen wird, vollkommen erhalten, wie z. B. die Holzkohle. Die glänzende, blaſige Kohle reſultirt aus Subſtanzen, wie Zucker, Harze ꝛc., die in der Hitze ſchmelzen.

Die verſchiedenen Arten der Kohle, die im Großen zu mannichfachem Gebrauch dargeſtellt werden, ſind folgende: Koks, Glanzkohle aus ſchmelzenden ſtickſtofffreien organiſchen Subſtanzen, Kienruß, Holzkohle, thieriſche Kohle (Blutkohle) aus ſtickſtoffhaltigen thieriſchen Abfällen und die Knochenkohle.

Kienruß nennt man eine ſehr fein zertheilte Kohle, die man bei der unvollſtändigen Verbrennung von Fett, Oel, Harz, harzreichem Holz oder Steinkohlen gewinnt. Er wird meiſtens als Farbe verbraucht. Zu dieſem Zweck wird der käufliche, unreine Kienruß in wohlverſchloſſenen Tiegeln oder eiſernen Cylindern geglüht und der Rückſtand durch verdünnte Salzſäure ausgezogen, die wiederum durch Waſſer vollſtändig entfernt wird. Die bekannte chineſiſche Tuſche iſt eine fein zertheilte Kohle, die beim unvollſtändigen Verbrennen von Seſamöl geſammelt wird. Mit Hülfe von Gummiwaſſer formt man die Kohle.

Wegen der Unveränderlichkeit der Kohle bezüglich der verſchiedenſten chemiſchen Einwirkungen iſt ſie als Farbe und Zeichnenmaterial ſehr geſchätzt. Sie liefert auch die Druckerſchwärze. Eine ſolche Kohle bereitet man auch vielfach auf dem gewöhnlichen Wege, d. h. durch Erhitzen vegetabiliſcher Stoffe in abgeſchloſſenen Räumen. Beſonders geſchätzt ſind das Frankfurter Schwarz (aus Traubenkämmen, Weinhefe, Pfirſichſteinen, Abfällen von Knochen und Elfenbein) und die Kohle aus Rebholz und Korkabfällen.

Holzkohle. Die Verkohlung des Holzes vollführt man im Großen auf verſchiedene Weiſe, je nachdem man gleichzeitig die flüchtigen Producte (Theer, Eſſigſäure ꝛc.) ſammeln will oder nicht. Nimmt man auf dieſe keine Rückſicht, ſo verkohlt man das Holz in Meilern (eine Operation, die ſchon Plinius beſchrieben hat) oder Haufen. Dieſe Art der Verkohlung iſt noch heute vielfach in Anwendung und wird es auch lange noch bleiben, da ſie eine dichtere und folglich eine größere Hitze liefernde Kohle giebt. Theils um eine größere Ausbeute an Kohlen, theils um gleichzeitig die flüchtigen Producte der trockenen Deſtillation zu gewinnen, nimmt man die Verkohlung auch in Gruben oder in Oefen vor. Der Hauptzweck dieſer Operation iſt, die Feuchtigkeit und den Sauerſtoff, die beide den Grad der Hitze, welche das Holz bei der Verbrennung liefert, beeinträchtigen, zu entfernen. Man erhält alſo in dieſem Sinne ein beſſeres Brennmaterial und hat zugleich noch den Vortheil, daß die Transportkoſten verringert werden, weil der Rückſtand (die Kohlen) einen bei weitem geringeren Raum einnimmt als das Holz, aus dem ſie dargeſtellt worden ſind.

Auf die Beſchaffenheit der Holzkohle haben die verſchiedenſten Umſtände einen großen Einfluß. Selbſt von denſelben Holzarten fällt die Kohle je nach dem Alter und dem Standorte des Holzes und der Temperatur, bei der das Holz verkohlt worden iſt, ſehr verſchieden aus. Harzfreies und ſaftarmes Holz liefert eine mehr poröſe Kohle als harz- und ſaftreiches, weil die Harze und Beſtandtheile des Saftes bei der Verkohlung eine Schmelzung erleiden. Von Bedeutung für die Ausbeute iſt auch der Waſſergehalt des Holzes; der Ertrag an Kohlen wird dadurch verringert, indem ſich der Waſſerdampf bei Gegenwart glühender Kohlen zerlegt und einen bedeutenden Theil des Kohlenſtoffs als Kohlenoxydgas fortführt.

Aus dieſem Grunde iſt es auch vortheilhaft, die Verkohlung nur langſam ins Werk zu ſetzen, damit möglichſt viel Waſſer als ſolches entweichen kann.

Die dichteren Holzarten geben eine dichtere, die leichteren eine leichtere Kohle; erſtere brennen bedeutend ſchwerer als letztere, weil ſie die Wärme beſſer leiten als dieſe. Auf die Dichte der Kohle hat auch die Temperatur einen großen Einfluß; je mehr man ſie ſteigert, um ſo dichter wird die Kohle und daher auch ein um ſo beſſerer Leiter für die Wärme und Elektricität, während ſie um ſo ſchwerer ſich entzünden läßt. Gewöhnliche Holzkohlen, ſelbſt in kleinen Stücken, kann man, weil ſie eben ſchlechte Leiter der Wärme ſind, ohne Beſchwerde in der Hand halten oder ſie berühren, ſelbſt wenn ſie an dem einen Ende glühen. Bei dichteren Kohlen iſt dies nicht der Fall. So fand Berzelius unter Schlacken Kohlen, die unverbrannt aus dem Hohofen wieder herausgekommen waren. Von dieſen wurden Stücke von über $5^3/_4$ Zoll Länge vor dem Löthrohr ſo heiß, daß man ſie nicht in der Hand halten konnte.

Mit beſonderer Sorgfalt ſtellt man die Kohlen dar, welche bei der Bereitung des Schießpulvers verwendet werden, denn von ihrer Beſchaffenheit, namentlich von der Lockerheit, die eben die leichte Entzündlichkeit bedingt, hängt die Güte des Schießpulvers ab. Man wählt hierzu die leichteren Holzarten (Ellern-, Pappel-, Linden-, Weiden-, Kaſtanien-, Faulbaum-, Haſelholz) oder andere Pflanzen (Hanf) aus, die eine ſehr lockere Kohle geben. Um eine möglichſt gleichmäßige Kohle zu erhalten, nimmt man am beſten Zweige von 1 bis 2 Zoll Stärke, die entrindet und in Gruben oder eiſernen Retorten verkohlt werden. Die auf erſtere Art erhaltene Kohle iſt dichter und ſchwarz, weniger gleichmäßig und dient daher zu den geringeren Sorten: beim Verkohlen in Cylindern erhält man eine mehr braune Maſſe, die den Namen Kohle eigentlich nicht verdient. Sie enthält bedeutende Mengen von Waſſerſtoff, iſt ſehr locker und daher ſehr entzündlich.

In neueſter Zeit hat Violette ausführliche Unterſuchungen über die Darſtellung der Holzkohlen angeſtellt, auf die wir verweiſen. Journ. f. prakt. Chem. Bd. LIV. S. 313 und Bd. LVI. S. 332.

Thieriſche Kohle (Blutkohle, Knochenkohle, gebranntes Elfenbein, Ebur ustum). Hauptſächlich verwendet man hierzu Knochen, die im Mittel circa 41 Proc. organiſche, alſo Kohle liefernde Subſtanz enthalten. Bei der Verkohlung der Knochen bilden ſich gleichfalls flüchtige Producte (Theer und ammoniakaliſches Waſſer), während als Rückſtand Kohle gemiſcht mit den unorganiſchen Beſtandtheilen der Knochen (der ſogenannten Knochenerde, zumeiſt aus phosphorſaurem Kalk beſtehend) bleibt. Auf die Gewinnung der flüchtigen Producte kann man nicht immer Rückſicht nehmen, da oft die daraus zu gewinnenden Fabrikate einen geringen Werth haben. Im anderen Falle iſt auch die Einrichtung der Verkohlungsapparate einfacher und wird bedeutend an Brennmaterial geſpart. Die Verkohlung nimmt man in eiſernen Tiegeln oder in ſolchen aus Thon vor, von denen man eine größere Zahl in einem Ofen erhitzt. Eine genaue Regulirung der Temperatur iſt hier von der größten Wichtigkeit; die Hitze muß gleichmäßig ſein und gerade genügen. War ſie zu ſchwach oder hielt ſie nicht lange genug an, ſo enthält die Kohle noch organiſche Verbindungen, die ſich beim Gebrauch der Kohle behufs der Entfärbung ſehr ſtörend geltend machen, indem ſie es dann gerade ſind, welche den Flüſſigkeiten Farbe, außerdem aber auch einen widerlichen Geruch mittheilen. War die Hitze

zu stark, so wird die Kohle zu dicht und büßt dadurch bedeutend an Güte als Entfärbungsmittel ein.

Außerdem werden noch mancherlei andere thierische Abfälle (Leder, Horn, Hufe, Blut ꝛc.) verkohlt. Wegen des Stickstoffgehaltes dieser Substanzen ist dieser auch in der Kohle enthalten. Gewöhnlich macht man daher bei der Verkohlung einen Zusatz von kohlensaurem Kali; es bildet sich dann Cyan, welches mit dem Kalium eine Verbindung eingeht, die durch Wasser ausgezogen werden kann.

Die verschiedenen Arten der Kohle, die wir besprochen haben, enthalten noch mancherlei Verunreinigungen, so daß sie nicht als reiner Kohlenstoff zu betrachten sind. Solchen erhält man auf verschiedene Art: durch Glühen von Ruß aus Oelen in verschlossenen Gefäßen, durch Zersetzung des ölbildenden Gases durch glühendes Eisen oder der Dämpfe von ätherischen oder empyreumatischen Oelen, die man durch glühende Porzellanröhren gehen läßt, oder durch Zersetzung der Kohlensäure in ihren Verbindungen mit Oxyden, z. B. dem Kali oder Natron, vermittelst Kalium oder Phosphor, welche der Kohlensäure den Sauerstoff entziehen.

So große Verschiedenheiten die aufgezählten Arten der Kohle im äußern Ansehen und in ihren Eigenschaften auch zeigen, so muß man den darin enthaltenen Kohlenstoff, wenn er auch in verschiedenen Modificationen auftritt, doch für identisch halten, denn alle diese verschiedenen Arten der Kohle oder des Kohlenstoffs liefern genau dieselben chemischen Verbindungen. Die Kohlensäure, das Product der Verbrennung des Kohlenstoffs ist dieselbe, ob man Diamant, Graphit oder die verschiedenen Arten der gewöhnlichen Kohle verbrannt hat. Berzelius hat zwar die Ansicht ausgesprochen, daß die verschiedenen Modificationen des Kohlenstoffs eigenthümliche chemische Verbindungen eingehen können, doch ist dies keineswegs erwiesen. Er folgerte dies aus dem Umstande, daß, der Regel entgegen, die Oxalsäure ($C^2 O^3$) trotz ihres geringeren Sauerstoffgehaltes eine stärkere Säure ist als die Kohlensäure. In einigen Eigenschaften stimmen alle Arten der Kohle außerdem noch überein; sie sind alle geruch- und geschmacklos und lassen sich weder schmelzen noch verflüchtigen, d. h. bei Anwendung unserer gewöhnlichen Mittel. Despretz hat nachgewiesen, daß dieser Ausspruch seine Richtigkeit verliert, sobald sich verschiedene Wärmequellen unterstützen. Bei einer ersten Versuchsreihe *) bogen sich nadelförmige Stücke von Anthracit (von 1^{mm} Dicke und 3^{cm} Länge), als er eine Batterie von 185 Bunsen'schen Paaren gewöhnlicher Größe und ein Brennglas von 90^{cm} Durchmesser darauf wirken ließ. Später gelang es ihm selbst **), bei Anwendung einer bedeutend größeren Zahl Bunsen'scher Paare, die Kohle im luftleeren Raum zu verflüchtigen; sie setzte sich an den Wandungen des Glases als schwarzes krystallinisches Pulver ab. In Gasen tritt gleichfalls, wenn schon langsam, eine Verflüchtigung der Kohle ein. Bei dieser Temperatur kann die Kohle noch zusammengeschweißt und geschmolzen werden. — Ein Auflösungsmittel für die Kohle giebt es nicht.

*) Compt. rend. T. XXVIII. p. 735.

**) Compt. rend. T. XXIX. p. 47 u. 709. T. XXX. p. 367. u. T. XXXVII. p. 369 und 443.

Ueber die Anwendung der Kohle als Brennmaterial ſ. d. A. Heizung.

Durch die große Poroſität, welche die Kohle im Allgemeinen beſitzt, erlangt ſie einige bemerkenswerthe Eigenſchaften, die vielfache nützliche Anwendungen der Kohle zulaſſen. Fontana entdeckte zuerſt, daß glühende Kohle, welche in Queckſilber abgelöſcht oder auf andere Art bei Ausſchluß der Luft abgekühlt worden, von verſchiedenen Gasarten bedeutende Mengen verſchluckte, welche das Volumen der Kohle um Vieles überſtiegen. Moroggo fand *), daß dieſe Abſorption verſchieden ſei, nach Verſchiedenheit der Gasarten und der Kohle ſelbſt. Die Holzkohle abſorbirt im Allgemeinen größere Mengen der Gaſe als die dichtere thieriſche Kohle oder die Koks; doch finden bei erſterer auch wieder große Unterſchiede ſtatt. Leichte Kohlen, welche ſehr große Poren beſitzen, wie z. B. die Kohle von Fichtenholz, abſorbiren eben ſo wie ſehr dichte Kohlen nur geringe Mengen der Gaſe. Es kommt hierbei ferner auf den Zuſtand der Zerkleinerung der Kohlen an; feines Pulver, bei welchem durch das Zerſtoßen die Zahl der Poren zu ſehr vermindert worden iſt, oder große Stücke, bei denen nicht alle Poren geöffnet ſind, abſorbiren weniger Gas. Am geeignetſten ſind kleinere Stücke. Sobald die Poren der Kohle mit einem Gaſe erfüllt ſind, nehmen ſie von den Gasarten, die ſie in größerer Menge verſchlucken, nur einen verhältnißmäßig kleinen Theil in ſich auf. Will man daher die Kohle zu dieſem Zweck benutzen, ſo muß ſie ſtets friſch geglüht werden, um die in den Poren enthaltene Luft auszutreiben und beim Abkühlen muß man, wie oben bereits angegeben, den Zutritt der Luft ſorgfältig abſchließen. Je größer die Dichtigkeit des luftförmigen Körpers, je niedriger die Temperatur, deſto größer iſt auch unter ſonſt gleichen Umſtänden die Abſorption. Eine chemiſche Verbindung mit dem Kohlenſtoff findet hierbei jedoch nicht ſtatt. Sauſſure zeigte **), daß dieſe merkwürdige Eigenſchaft nicht den Kohlen allein, ſondern den poröſen Körpern im Allgemeinen zukomme. Bei den von ihm hierüber angeſtellten Verſuchen abſorbirte friſch ausgeglühte Buchsbaumkohle unter allen Körpern das meiſte Gas; und zwar bei einer Temperatur von 11 bis 13° und einer Barometerhöhe von 0,724 Meter binnen 24 bis 36 Stunden:

Ammoniakgas	90	Volumen.
Salzſaures Gas	85	"
Schwefligſaures Gas . .	65	"
Schwefelwaſſerſtoffgas . .	55	"
Stickſtoffoxydulgas . . .	40	"
Kohlenſaures Gas . . .	35	"
Oelbildendes Gas . . .	35	"
Kohlenoxydgas	9,42	"
Sauerſtoffgas	9,25	"
Stickſtoffgas	7,5	"
Waſſerſtoffgas	1,75	"

Man benutzt daher friſch ausgeglühte Kohlen mit Vortheil, um üble Gerüche in Stuben, Kellern, Latrinen ꝛc., oder ſchädliche Gasarten, z. B. Kohlenſäure

*) Lichtenberg's Magazin. Bd. II. St. 2. S. 7 und St. 3. S. 72. Gilb. Ann. Bd. XVII. S. 239.

**) Gilb. Ann. Bd. XLVIII. S. 113.

in Brunnenſchächten, Kellern und ſonſtigen Räumen, in welchen ſich gährende Flüſſigkeiten befinden, zu entfernen.

Ueber die Wärmemengen, welche bei der Abſorption von Gaſen durch Kohle frei werden, haben Favre und Silbermann Unterſuchungen angeſtellt *). Ein Gramm Kohle abſorbirte:

ſalzſaures Gas	69,2	Kubikcent.
ſchwefligſaures Gas . . .	83,2	"
kohlenſaures Gas	45,2	"

Hierbei entwickelten

1 Grm. ſalzſaures Gas	332,5	Wärmeeinh.
ſchwefligſaures Gas . . .	139,9	"
kohlenſaures	129,6	"

Mitſcherlich, der dieſe Erſcheinungen ſorgfältig ſtudirt hat, gelangte hierbei zu dem Schluß, daß ein Theil des Gaſes, bei der Kohlenſäure z. B., ſich im flüſſigen Zuſtande in den Poren befinden müſſe. Neuere Unterſuchungen von Favre **) führen jedoch weiter, als die Annahmen von Mitſcherlich; ſie laſſen ſelbſt den feſten Zuſtand der Kohlenſäure in den Zellen zu.

Schon früher war bekannt, daß die Kohle bedeutende Mengen von Waſſerdampf aus der Luft in ſich aufnehme, wodurch ſie natürlich eine bedeutende Gewichtszunahme erleidet. Verſuche hierüber ſind namentlich von Allen und Pepys und von Nau angeſtellt. Nach erſteren wurde während einer Woche an Waſſerdampf aus der Luft dem Gewichte nach abſorbirt:

durch Kohle von Franzoſenholz. . .	9,6	Proc.
" Kienholz	13,0	"
" Buchsbaumholz . .	14,0	"
" Buchenholz . . .	16,3	"
" Eichenholz. . . .	16,5	"
" Mahagonyholz . .	18,0	"

Nau giebt an, daß unter 39 Arten Kohle die größte Abſorption binnen 24 Stunden die Kohle der Schwarzpappel und der orientaliſchen Platane (16,3 Proc.), die geringſte die Kohle des Wallnußbaums (0,9 Proc.) und der Weißbuche (0,8 Proc.) zeigten. Dieſer Waſſergehalt, welchen die Kohle beim Lagern an der Luft in ſich aufnimmt, wirkt jedoch beim Verbrennen nicht ſchädlich, ſondern ſteigert vielmehr die Heizkraft der Kohle, indem das Waſſer durch die glühenden Kohlen zerſetzt wird und das brennbare Waſſerſtoffgas zur Erhöhung des Wärmeeffectes mit beiträgt.

Ausgeglühte Holzkohle beſitzt ferner noch eine zweite wichtige Eigenſchaft; ſie nimmt auch aus Flüſſigkeiten ſowohl Farbe und Extractivſtoffe, als auch riechende Stoffe in ihre Poren auf ***). Die erſte Entdeckung rührt von Lowitz her

---

*) Compt. rend. T. XXIX. p. 449.

**) L'Instit. No. 1086. p. 367.

***) Gilb. Ann. Bd. XIII. S. 103. Journ. f. prakt. Chem. Bd. XI. S. 243. B. XV. S. 430. Bd. LV. S. 474. Pogg. Ann. Bd. LXXXVI. S. 330. Verhandlungen des Vereines zur Beförderung des Gewerbefleißes in Preußen 1823. S. 145 u. 174. Dingler's polytechn. Journ. Bd. IX. S. 223.

1790, der auf diese Art Indigolösung, Syrup, Safran und Krappaufguß entfärbte. Man machte bald von dieser wichtigen Eigenschaft in der Industrie Gebrauch; jetzt in einem sehr ausgedehnten Maße, besonders in Zuckerfabriken zur Entfärbung des Syrups.

Auch hier zeigen sich wieder große Verschiedenheiten nach beiden Seiten hin; einmal wirken die verschiedenen Kohlen in einem verschiedenen Maße entfärbend, dann aber verhält sich ein und dieselbe Kohle gegen verschiedene Farbstoffe verschieden. Figuier bestätigte 1810 die bereits früher von Kels *) gemachte Entdeckung, daß Knochenkohle besser entfärbe als Holzkohle. Dies rührt davon her, daß in ersterer die Kohlentheilchen durch den gleichzeitig vorhandenen phosphorsauren Kalk auf das Feinste zertheilt und dadurch besonders geschickt werden, die Farbstoffe in sich aufzunehmen. Auf ähnliche Art kann man auch der Pflanzenkohle ein größeres Entfärbungsvermögen ertheilen, wenn man die Holztheilchen vor dem Verkohlen mit erdigen Substanzen mischt. Daher entfärbt auch ausgeglühte Braunkohle besser als gewöhnliche Pflanzenkohle. Besonders wirksam ist die Kohle, welche bei der Bereitung des Blutlaugensalzes zurückbleibt. Im allgemeinen entfärben alle Kohlen, welche ein glänzendes Ansehen haben, schlechter als die Kohlen, die ein mattes erdiges Ansehen haben.

Bussy hat verschieden bereitete thierische Kohlen in Bezug auf das Entfärbungsvermögen für verschiedene Farbestoffe (Indigolösung und Syrup) geprüft und hierbei folgende Resultate erhalten:

	Entfärbungsvermögen für Indigolösung	Entfärbungsvermögen für Zuckerlösung
Gewöhnliche Knochenkohle	1,0.	1,0.
Knochenkohle mit Salzsäure behandelt . .	1,9.	1,6.
= = = = = und dann mit Pottasche geglüht	45.	20.
Geglühter Kienruß	4.	3, 3.
Kienruß mit Pottasche geglüht	15,2	10, 6.
Blut mit phosphorsaurem Kalk geglüht . .	12.	10.
= = kohlensaurem Kalk geglüht . . .	18.	11.
= = Pottasche geglüht	50.	20.
Eiweiß oder Leim mit Pottasche geglüht . .	35.	15, 5.

Weitere Angaben über die Wirksamkeit verschiedener Kohlen hinsichtlich der Entfärbung von Lösungen der Alkaloide hat Guthe gegeben **). Die mit Chlorwasserstoffsäure gereinigte, nicht geglühte, noch feuchte Knochenkohle zeigte sich hierbei am geeignetsten.

Das Entfärbungsvermögen kommt der Kohle eben so wenig ausschließlich allein zu, als die Absorption der Gase. Mehrere andere Körper, wie Thonerde, Mergelschiefer, auf nassem Wege bereitetes Schwefelblei, Bleioxydhydrat ꝛc. besitzen gleichfalls die Eigenschaft, Flüssigkeiten zu entfärben. Hierauf beruht ja die Darstellung der Farblacke. Zwar ist man meistens geneigt, die Wirkung der Oxyde auf die Farbstoffe bei der Bereitung der Lacke mehr als eine chemische

*) Crell's Ann. 1792. Bd. I. S. 198.
**) Arch. d. Pharm. Bd. CXIX. S. 131.

anzusehen, Berzelius jedoch reiht sie der der Kohle an. Fiehol zeigt *), daß die Zahl der Körper, die mit Entfärbungsvermögen begabt sind, weit größer ist, als man gewöhnlich glaubt und daß diese Eigenschaft weit mehr von dem Zertheilungszustand der Körper abhängt, als von den chemischen Qualitäten derselben. Er giebt eine reichhaltige Zusammenstellung solcher Körper mit den Resultaten ihres Verhaltens gegen Lackmustinktur und indigblauschwefelsaures Natron.

Der Farbstoff wird hier nicht wie bei anderen chemisch wirkenden Mitteln zerstört, auch geht er keine chemische Verbindung mit dem Kohlenstoff ein, sondern er wird einfach nur in die Poren aufgenommen. Durch Wasser oder andere passende Auflösungsmittel kann man ihn daher wieder entfernen. Ein solches Entziehen des Farbstoffes muß zeitweise geschehen, wenn man ein und dieselbe Kohle unausgesetzt gebrauchen will, denn sobald die Poren gefüllt sind, hört das Entfärbungsvermögen ganz auf. Durch besondere Operationen, die man das Wiederbeleben nennt, ertheilt man der Kohle die frühere Wirksamkeit wieder mit. Zu diesem Zwecke entzieht man der Kohle die aufgenommenen Stoffe entweder durch Auflösen oder man zerstört dieselben durch Gährung oder durch Glühen.

Diese Eigenschaft der Kohle verwendet man in der Technik außer in der Zuckerfabrikation noch auf vielfache Weise. So z. B. um Honig oder andere süße Säfte zu klären, um Essig zu entfärben, bei der Darstellung der Pflanzensäuren, verschiedener Salze ꝛc. Oft ist hier der Kalkgehalt der Knochenkohle von nachtheiliger Einwirkung; er wird daher durch Salzsäure entfernt oder man wendet Holzkohle an.

Außer den Farbstoffen zieht die Kohle aus Flüssigkeiten auch den Geruch an sich, so daß man selbst stark riechende Flüssigkeiten wie Parfümerien ꝛc. ganz geruchlos machen kann. Daher wendet man die Kohle namentlich zur Entfuselung des Branntweins an. In großen Städten, die ihren Bedarf an Wasser aus den Flüssen nehmen müssen, in welche aller Unrath abgeführt wird, reinigt man das Wasser durch Filtration mittelst Kohle. Die Fässer, welche den Wasservorrath für lange Seereisen enthalten, werden innen verkohlt, damit das Wasser für lange Zeit gut erhalten bleibt. Auch Wein soll in solchen Fässern lange Zeit gut bleiben. Fleischbrühe, die einen unangenehmen Geruch angenommen hat, wird durch Kohle davon befreit und wiederum genießbar gemacht.

Ueberhaupt wirkt die Kohle stark fäulnißwidrig. Fleisch in Kohlenpulver eingepackt, erhält sich lange Zeit unverändert. Selbst in Krankheiten, wo stinkende Ausflüsse auftreten, beim Brande, eiternden Wunden, wendet man frischgeglühtes Kohlenpulver mit Vortheil an, um die ekelhaften Gerüche aufzuheben. Stenhouse macht darauf aufmerksam **), daß die Wirkung der Holzkohle auf die complicirten Fäulnißproducte, nämlich diese zu oxydiren und in die einfachsten Verbindungen überzuführen, noch lange nicht genügend beachtet werde, um die schädliche Einwirkung dieser Producte auf den thierischen Organismus aufzuheben. Er theilt mit, daß Turnbull, der die Cadaver zweier Hunde zwischen zwei nur wenige Zoll tiefe Schichten von Kohlenpulver gebracht hatte, durchaus keine an Fäulniß erinnernde Ausdünstungen wahrnahm, obgleich nach

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXVI. S. 330.
**) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XC. S. 186.

6 Monaten mit Ausnahme der Knochen faſt Nichts mehr von den Thieren übrig geblieben war. Die Kohle kann alſo ſehr nützlich angewendet werden, um die Verbreitung ſchädlicher Effluvien von Kirchhöfen oder todten Körpern überhaupt zu verhindern. Würde man, meint Stenhouſe, einen Kirchhof zwei bis drei Zoll hoch mit gröblich gepulverter Holzkohle überdecken, ſo würde hierdurch verhindert werden, daß irgend welche flüchtige Fäulnißproducte ſich in die Atmoſphäre verbreiten. Er hat hierdurch Veranlaſſung genommen, einen Reſpirator anfertigen zu laſſen, der mit gepulverter Kohle gefüllt iſt, um alle Miasmen und anſteckende Theilchen zu abſorbiren oder zu zerſtören, welche bei gelbem Fieber, Cholera und anderen ähnlichen Krankheiten in der Luft enthalten ſein können. Zu dieſer Annahme hält er ſich in Folge verſchiedener Verſuche berechtigt, die er mit ſchädlichen Gaſen wie Ammoniak, Schwefelwaſſerſtoff, Schwefelammonium ꝛc. anſtellte. Er fand, daß Luft, die mit dieſen Gaſen beladen war und unter gewöhnlichen Umſtänden ſchon nach kurzer Zeit nicht länger eingeathmet werden konnte, durch den Kohlenreſpirator hindurch ohne alle Unannehmlichkeiten ſich einathmen ließ, indem der Geruch der beigemiſchten Gaſe dadurch faſt ganz, wo nicht vollſtändig beſeitigt wurde. Aehnliche Vorrichtungen will er auch in den Wohnungen angebracht wiſſen, ſo daß alle von außen eindringende Luft dieſe Filter zu paſſiren hätte. In ſehr ungeſunden Gegenden ſollen die Wände und Fußböden mit Matratzen belegt werden, welche einige Zoll dick mit Kohlenpulver bedeckt ſind. Stenhouſe iſt der Anſicht, daß bei dieſen Vorſichtsmaßregeln Europäer mit bei weitem größerer Sicherheit in Gegenden leben könnten, welche jetzt als die der Geſundheit verderblichſten betrachtet werden.

Die eben beſprochenen Eigenſchaften der Kohle beruhen auf der mechaniſchen Wirkung der Flächenanziehung. Sie ſtehen daher im Verhältniß zu der Größe der Fläche. Wenn man bedenkt, daß ein Cubikzoll Kohle in den unzerſtörten Wänden der Zellen und Gefäße mehr als 100 Quadratfuß Oberfläche darbietet, ſo ſind die Wirkungen der Kohle, die man oft Gelegenheit hat zu beobachten, begreiflich. Außer den bereits genannten Stoffen ſcheidet die Kohle aber auch eine große Zahl anderer aus Flüſſigkeiten ab und hier geht in manchen Fällen unzweifelhaft der Flächenanziehung eine wirkliche chemiſche Anziehung vorher, ſo z. B. bei der ſchwefelſauren Indigolöſung. Beſonders tritt dies hervor bei Verbindungen, die ſonſt nicht leicht zerlegt werden können. Aus einer Löſung von eſſigſaurem Bleioxyd z. B. wird durch Kohle alles Blei entfernt, eben ſo aus verdünnten Kupferſalzlöſungen das Kupfer. Während in vielen Fällen die Kohle das, was ſie aus den Flüſſigkeiten aufgenommen hat, an heißes Waſſer wieder abtritt, geſchieht dies in anderen, wie z. B. den beiden eben angeführten durchaus nicht; bei Anwendung einer Löſung von ſalpeterſaurem Silberoxyd bemerkte Graham nach einiger Zeit zwiſchen der Kohle glänzende metalliſche Flitterchen.

Ueber das Verhalten der Kohle zu verſchiedenen Salzlöſungen ſind zahlreiche Unterſuchungen ausgeführt *). Chevallier hat gefunden, daß auch hier die

*) Graham, Pogg. Ann. Bd. XIX. S. 139 Chevallier, Compt. rend. T. XX. p. 1279. Journ. f. prakt. Chem. Bd. XXXV. S. 356. Esprit, Journ. de Pharm. et de Chim. T. XVI. p. 192. Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLVIII. S. 424. Geiſeler, Ann. d. Chem. und Pharm. Bd. XX. S. 155. Wepven, Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LV. S. 241 und Bd. LIX. S. 354. Harms, Arch. d. Pharm. Bd. CXIX. S. 121.

thieriſche Kohle viel kräftiger wirkt als Pflanzenkohle. So entfernte z. B. 1 Grm. Thierkohle 1 Grm. eſſigſaures Bleioxyd aus der Löſung in 100 Grm. Waſſer binnen 48 Stunden, während die Hälfte des eſſigſauren Salzes durch das fünffache Gewicht Pflanzenkohle nur erſt nach bedeutend längerer Zeit der Löſung ganz entzogen wurde. Nach Esprit kommen $3^1/_2$ Th. Pflanzenkohle 1 Th. thieriſcher Kohle an Wirkſamkeit gleich. Eben ſo geht die Aufnahme der Stoffe bei Anwendung von Wärme viel raſcher vor ſich als in der Kälte. Unterſucht man das Waſſer, in welchem man die Kohle auf eſſigſaures und ſalpeterſaures Bleioxyd hat wirken laſſen, ſo findet man die entſprechende Säure darin im freien Zuſtande. Bei der Deſtillation eines Gemiſches von eſſigſaurem Bleioxyd, Kohle und Waſſer erhält man nach Chevallier Eſſigſäure; bei ſalpeterſaurem Bleioxyd Salpeterſäure. Die Kohle giebt daher ein gutes Mittel ab aus Flüſſigkeiten, wie z. B. Wein, Orangenwaſſer ꝛc., die durch Blei verunreinigt ſind, dieſe der Geſundheit nachtheilige Beimiſchung zu entfernen. Auf dieſe Eigenſchaft der Kohle hat man namentlich bei Unterſuchungen von Flüſſigkeiten, die eine Entfärbung nöthig machen, ganz beſonders Rückſicht zu nehmen. Es können hier Metalloxyde durch die Kohle entfernt werden und ſich dadurch der Auffindung bei der Unterſuchung der entfärbten Flüſſigkeit ganz entziehen.

Nach Esprit reducirt eine glühende Kohle Metalle aus ihren Löſungen. Nach ihm erleidet die Zuſammenſetzung eines Salzes, deſſen Löſung man mit Kohle behandelt, eine Veränderung. Es bildet ſich ein baſiſches Salz und freie Säure, welche letztere man in der Flüſſigkeit vorfindet; oft aber bildet ſich auch ein baſiſches Salz, das in der Kohle zurückbleibt, während ein ſehr ſaures Salz in der Flüſſigkeit befindlich iſt. Der letztere Fall tritt bei dem ſchwefelſauren Eiſenoxydul und Zinkoxyd ein; beide können daher durch Kohle nicht vollſtändig entfernt werden. Häufig findet aber nur eine einfache Abſorption ſtatt.

Weppen fand, daß Kohle, welche bereits zur Fällung eines Metalles gedient hat und damit gleichſam geſättigt iſt, noch zur Fällung eines anderen dienen könne, auch wenn man eine andere Reihenfolge beobachtet, als die, in welcher ein Metall das andere niederzuſchlagen pflegt. Uebrigens enthalten die verſchiedenen Unterſuchungen, die über die Einwirkung der Kohle auf Metallſalzlöſungen angeſtellt worden ſind, noch mancherlei Widerſprüche in ſich. So behauptet z. B. Schönbein *), daß Löſungen der Eiſen- und Queckſilberoxydſalze, ſo wie die Chloride beider durch Kohle in Oxydulſalze und Chlorüre verwandelt werden. Esprit hat jedoch hervorgehoben **), daß Schönbein hierbei dem Einfluß der in der Kohle gewöhnlich enthaltenen Schwefelmetalle und anderen Verunreinigungen nicht Rechnung getragen zu haben ſcheine. Der Angabe von Schönbein, daß Queckſilberchlorid in wäſſeriger Löſung mit Kohlenpulver geſchüttelt zu Chlorür werde, widerſpricht Esprit auf das Beſtimmteſte.

Bittere Stoffe, Harze und gerbſtoffhaltige Subſtanzen werden gleichfalls durch Kohle aus Löſungen entfernt. Garrod ſchlägt daher die Kohle als Gegengift aller Alkaloide vor. Verſuche hierüber an Thieren hat er jedoch nicht angeſtellt. Labourdais bediente ſich dieſer Eigenſchaft wegen der Kohle bei der

*) Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 321.
**) Journ. de Chim. méd. [3] T. VI. p. 502.

Darſtellung gewiſſer Alkaloide *), indem er die getrocknete Kohle mit ſiedendem Alkohol auszog und dieſen Auszug auf geeignete Art wieder verarbeitete.

Esprit verſuchte, ob auch andere poröſe Körper dieſe Eigenſchaft mit der Kohle theilen. Bimſtein gab nicht genügende Reſultate. Platinmohr entzog zwar mehreren Tinkturen den Geſchmack und die Farbe; die Wirkung hörte aber bald auf und ſtand keineswegs im Verhältniß zu der außerordentlichen Poroſität und Zertheilung dieſes Körpers.

Die Unveränderlichkeit der Kohle gegen die verſchiedenſten Reagentien giebt zu mancherlei Anwendung Veranlaſſung. So z. B. verkohlt man Pfähle, die in die Erde eingeſchlagen werden, an der Oberfläche, damit ſie längere Zeit erhalten bleiben. Zeichnungen mit Kohle oder Tuſche ſind aus dieſem Grunde ſehr dauerhaft; man kann daher vergelbte Drucke, Kupferſtiche ꝛc. durch Chlor bleichen, ohne den Druck zu zerſtören.

Ueber die Wirkung der Kohle bei der Vegetation hat Lucas einige intereſſante Verſuche mitgetheilt **). Auch hier zeigt ſich die thieriſche Kohle weit vortheilhafter als die Pflanzenkohle; es bewurzelten ſich Blätter weit ſchneller und trieben ſchneller Augen, als die gleichartigen, bei denen Pflanzenkohle der Erde beigemiſcht worden war.

Die Entdeckung von Bunſen, daß die Kohle im Stande ſei, das koſtbare Platin als negatives Glied in den Volta'ſchen Ketten zu erſetzen, hat in neueſter Zeit wegen der vielfachen Verwendung der letzteren bei der elektriſchen Telegraphie und zu gewerblichen Zwecken eine beſondere Wichtigkeit erlangt. Ueber die Bereitung einer ſolchen Kohle vergleiche man Pogg. Ann. Bd. LIV. S. 417 und Bd. LV. S. 265 und Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXI. S. 437. Wegen ihrer chemiſchen Indifferenz eignet ſich die Kohle auch vorzüglich zu elektrolytiſchen Apparaten.

Bei gewöhnlicher Temperatur verbindet ſich die Kohle, obgleich ſie große Mengen von Luft abſorbirt, mit dem Sauerſtoff nicht. Mitunter jedoch kommt eine freiwillige Entzündung der Kohle vor, auf die man erſt in neuerer Zeit aufmerkſam geworden iſt ***). Es ſcheint, daß dies beſonders eintritt, wenn friſch bereitete und gepulverte Kohle in großen Mengen hoch aufgeſchüttet wird. Jedoch ſind die näheren Umſtände hier noch nicht genügend erforſcht. Häufig tritt auch in Pulvermühlen bei den erſten Stößen des Stampfers, unter welchem die Kohle zermalmt wird, eine freiwillige Entzündung ein. Coſſigny, der die Pulvermühlen auf Isle de France leitete, beobachtete die freiwillige Entzündung der Kohle 1780 zuerſt, indem Kohle, die auf einem horizontalen Steine zermahlen wurde, ſehr lebhaft Funken ſprühte. Dieſem Umſtande ſchrieb er das früher ſo häufige Auffliegen der Stampfmühlen zu. Seitdem auf ſeinen Vorſchlag die drei Materialien, welche das Schießpulver bilden, nicht mehr zuſammen, ſondern jede Subſtanz für ſich zerkleinert werden, ſind die Unglücksfälle in den Pulvermühlen bedeutend ſeltener geworden.

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLVIII. S. 374.
**) Lieb. Ann. Bd. XXXIX. S. 127.
***) Gilb. Ann. Bd. XVII. S. 244. Journ. f. prakt. Chem. Bd. IX. S. 101. Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. X. S. 130 u. 134. Pogg. Ann. Bd. XX. S. 451 und 620.

Bei höherer Temperatur verbindet ſich die Kohle mit dem Sauerſtoff. Hierauf beruhen viele Operationen, die für das Leben eine große Wichtigkeit haben. Zu dieſen gehören beſonders der Verbrennungsproceß und die Reduction (Gewinnung) der Metalle im Großen aus ihren Verbindungen mit Sauerſtoff.

Die Kohle brennt nicht mit Flamme, weil ſie bei dieſer Temperatur nicht flüchtig iſt; ſie glüht daher nur, wie z. B. Eiſen. Bei gewöhnlicher Temperatur zerſetzt die Kohle das Waſſer nicht, wohl aber in der Glühhitze. Eben ſo werden auch die Sauerſtoffſäuren von Chlor, Brom, Jod, Schwefel, die Sauerſtoffverbindungen des Stickſtoffs, Schwefelwaſſerſtoff ꝛc. durch Kohle in der Wärme zerlegt.

Mit dem Sauerſtoff liefert der Kohlenſtoff eine ganze Reihe von Verbindungen. Nach der Sauerſtoffmenge, die ſie enthalten, folgen ſie ſich in folgender Ordnung:

1) Die Honigſteinſäure oder Mellithſäure $C^4 O^3$. Sie kommt in der Natur mit Thonerde und Waſſer verbunden als Honigſtein, jedoch nur ſelten vor.
2) Die Krokonſäure $C^5 O^4$. } Beide bilden ſich bei der Darſtellung des Ka-
3) Die Rhodizonſäure $C^7 O^7$. } liums.
4) Das Kohlenoxyd C O.
5) Die Meſoxalſäure $C^3 O^4$; ein Zerſetzungsproduct der Harnſäure.
6) Die Oxalſäure $C^2 O^3$. Obgleich ſie ſehr allgemein in den Pflanzen auftritt, ſo kann ſie doch nur aus wenigen (Rumex, Oxalis, Rheum) in größerer Menge gewonnen werden. Außerdem tritt ſie auch nicht ſelten im thieriſchen Organismus auf und zwar nicht immer, wie z. B. in gewiſſen Harnſteinen, den ſogenannten Maulbeerſteinen, als Krankheitsproduct. Sehr leicht wird ſie durch Oxydation organiſcher Körper, beſonders der Kohlehydrate (Zucker, Stärke) mittelſt Salpeterſäure erhalten. Sie findet beſonders in der Färberei und Kattundruckerei Verwendung.
7) Die Kohlenſäure C O^2.

Die wichtigſten Verbindungen ſind das Kohlenoxyd und die Kohlenſäure, die daher näher zu betrachten ſind.

Kohlen- oder Kohlenſtoffoxyd, Gas oxide de carbone, carbonic oxyde. Chemiſche Formel: CO. Atomgewicht oder Aequivalent: 175 (O = 100) oder 14 (H = 1). In 100 Theilen: C 42,89 und O 57,11. Zuſammenſetzung dem Volumen nach:

½ Vol. Kohlenſtoffdampf	0,4145
½ Vol. Sauerſtoffgas	0,5526
1 Vol. Kohlenoxydgas	0,9674.

Als den Entdecker des Kohlenoxydgaſes haben wir Prieſtley anzuſehen, der es 1799 beim Glühen von Kohle mit Zinkoxyd erhielt. Bald darauf entdeckte auch Woodhouſe das Kohlenoxydgas, als er glühende Kohlen auf Kohlenſäure einwirken ließ. Die chemiſche Natur dieſes Gaſes wurde jedoch erſt ſpäter durch die Unterſuchungen von Cruikshank, Clement und Deſormes, Fourcroy, Gay-Luſſac, Thénard u. A. feſtgeſtellt.

In der Natur kommt das Kohlenoxydgas nicht vor; es bildet ſich jedoch bei verſchiedenen Vorgängen, ſo namentlich beim Verbrennen der Kohle oder kohlenſtoffhaltiger Körper, ſobald der Zutritt der Luft zur vollſtändigen Oxydation des

Kohlenſtoffs zu Kohlenſäure nicht ausreicht und bei der Reduction der Metalloxyde, welche den Sauerſtoff mit einer gewiſſen Kraft zurückhalten. Auch anderen Sauerſtoffverbindungen entzieht die Kohle bei höherer Temperatur den Sauerſtoff und bildet damit Kohlenoxydgas. So z. B. wenn man Waſſerdämpfe über glühende Kohlen leitet. Hierbei entſteht jedoch ſtets auch Kohlenſäure und zwar in größerer Menge, wenn viel Waſſerdampf auf wenig Kohle einwirkt. Erhitzt man kohlenſauren Kalk mit $^1/_4$ Gew. Th. Kohle, ſo erhält man gleichfalls Kohlenoxydgas, das aber, wie bei der Zerſetzung des Waſſers, mit Kohlenſäure und Waſſerſtoffgas gemengt iſt.

Leitet man Kohlenſäure über glühende Kohle, ſo nimmt die erſtere noch Kohlenſtoff auf, wodurch ſich ebenfalls Kohlenoxydgas bildet. Dieſen Vorgang beobachtet man oft bei unſeren Kohlenfeuerungen an der blauen Flamme, mit der das heiße Kohlenoxydgas beim Austritt in die Luft zu Kohlenſäure verbrennt, während man im gewöhnlichen Leben dieſe kleine blaue Flamme fälſchlich einem Schwefelgehalt in den Kohlen zuſchreibt.

Kohlenoxydgas entſteht ferner bei der Zerſetzung organiſcher Körper, namentlich bei der trockenen Deſtillation der nicht flüchtigen Verbindungen; hier tritt gewöhnlich auch noch Kohlenwaſſerſtoff, Kohlenſäure ꝛc. auf. Kommt es darauf an, Kohlenoxydgas im reinen Zuſtande zu gewinnen, ſo erhitzt man ein ameiſenſaures Salz mit überſchüſſiger concentrirter Schwefelſäure. Die Ameiſenſäure (C^2 H O^3) zerfällt hierbei in Kohlenoxydgas und Waſſer. Auf gleiche Weiſe zerfällt die Oxalſäure (C^2 O^3) in Kohlenoxydgas und Kohlenſäure, welche letztere man ſehr leicht durch Kalkmilch oder Kalilauge beſeitigt. Statt der reinen Oxalſäure kann man hierbei das billigere Kleeſalz (ſaures oxalſaures Kali) verwenden. Nach Filhol *) liefern Stärke- oder Rohrzucker, wenn ſie mit dem vierfachen Gewicht concentrirter Schwefelſäure erhitzt werden, gleichfalls Kohlenoxydgas, das auf die angegebene Art ſehr leicht von der beigemengten Kohlenſäure (etwa $^1/_5$ des Volumens) befreit werden kann. 80 Grm. Zucker lieferten etwa 2 Liter Gas. Stärkmehl gab ein analoges Reſultat. Nach Pelouze **) entwickelt auch Milchſäure, wenn ſie mit einem großen Ueberſchuß von concentrirter Schwefelſäure erwärmt wird, reines Kohlenoxydgas. Als eine äußerſt wohlfeile Quelle des Kohlenoxydgaſes zu Zwecken der Unterſuchung oder des Unterrichtes empfiehlt Fownes ***) die Erhitzung des feingepulverten Ferrocyankaliums mit dem 8 bis 10fachen Gewicht concentrirter Schwefelſäure. Eine halbe Unze des gelben Salzes liefert mehr als 300 Kubikzoll Gas, welches ſich in hohem Grade durch ſeine Reinheit auszeichnet. Gegen das Ende der Operation bildet ſich eine kleine Menge ſchwefliger Säure.

Das Kohlenoxydgas iſt farblos, geruchlos und geſchmacklos. Spec. Gewicht nach Wrede = 0,96779, nach Clement und Desormes = 0,9409. Vom Waſſer werden nur geringe Mengen abſorbirt (nach Davy nur $^1/_{50}$, nach Dalton $^1/_{27}$ und nach Sauſſure $^1/_{17}$ ſeines Volumens). Zu einer Flüſſigkeit iſt das Kohlenoxydgas bis jetzt noch nicht verdichtet worden. Es iſt nicht fähig die

*) Journ. de Pharm. et de Chim. [3] T. VII. p. 99.

**) Journ. de Pharm. et de Chim. [3] T. VII. p. 1. Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LIII. S. 121.

***) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XLVIII. S. 38.

Verbrennung zu unterhalten, während es, wie ſchon angeführt, ſelbſt brennbar iſt; jedoch leuchtet die Flamme nur wenig. Bei der Verbrennung nimmt das Kohlenoxydgas ſein halbes Volumen Sauerſtoff auf und es reſultirt hierbei Kohlenſäure, deren Volumen jedoch dem des angewendeten Kohlenoxydgaſes gleich iſt. Entzündet man ein Gemiſch von Kohlenoxydgas und Sauerſtoff oder Luft durch den elektriſchen Funken, ſo wird das Kohlenoxydgas nicht vollſtändig zu Kohlenſäure oxydirt, weil letztere ihrerſeits wieder durch den elektriſchen Funken in Kohlenoxydgas und Sauerſtoff zerlegt wird. Platin bewirkt gleichfalls eine Vereinigung des Kohlenoxydgaſes mit Sauerſtoff.

Das Kohlenoxydgas wirkt in der Hitze reducirend. Ausführliche Unterſuchungen hierüber ſind von Stammer *) angeſtellt. Durch Kalium und Natrium wird das Kohlenoxydgas in der Hitze zerſetzt; es ſcheidet ſich Kohle ab. Bei mäßiger Wärme wird jedoch das Kohlenoxydgas vom Kalium abſorbirt; auf dieſe Art beſtimmt man das Kohlenoxydgas quantitativ in Gasgemiſchen, z. B. bei der Unterſuchung des Leuchtgaſes. Mehr zu empfehlen iſt hier die Anwendung von Kupferoxydullöſungen, die nach Leblanc **) das Kohlenoxydgas eben ſo ſchnell abſorbiren ſollen, wie kauſtiſches Kali die Kohlenſäure. Bei Einwirkung des Sonnenlichtes verbindet ſich das Kohlenoxydgas mit einem gleichen Volumen Chlorgas zu Phosgengas oder kohlenſaurem Kohlenſuperchlorid (Kohlenacichlorid nach Berzelius) $C\begin{cases}O\\Cl\end{cases}$. Nach Hoffmann erhält man dieſe Verbindung ſehr leicht, wenn man Kohlenoxydgas durch ſiedendes fünffach Chlorantimon leitet. Er empfiehlt dieſes Verhalten, um die Gegenwart des Kohlenoxydgaſes in Gasgemiſchen nachzuweiſen, da der Geruch des Phosgens ſehr leicht zu erkennen iſt. Auf Pflanzenfarben wirkt das Kohlenoxydgas nicht ein. Es iſt überhaupt ein indifferenter Körper, der weder mit Säuren noch Baſen Verbindungen eingeht.

Beſonders hervorzuheben iſt noch die ſchädliche Einwirkung des Kohlenoxydgaſes auf den thieriſchen Organismus. Selbſt in geringen Mengen der Luft beigemengt bewirkt es Schwindel, Ohnmachten und ſelbſt den Tod. Dieſem Gaſe ſind die beklagenswerthen Wirkungen des Kohlendunſtes, der ſich verbreitet, wenn die Oefen in den Zimmern zu früh geſchloſſen werden oder wenn man gar geſchloſſene Räume durch Verbrennen von Kohlen erwärmen will, zuzuſchreiben. So oft auch auf die traurigen Folgen dieſer Art aufmerkſam gemacht worden iſt, ſo fordern dennoch die Nachläſſigkeit und der Unverſtand unausgeſetzt jeden Winter zahlreiche Opfer. Nach Barruel ***) iſt das Kohlenoxydgas ein vortreffliches Mittel gegen den ſchädlichen Kornwurm. Sowohl vollkommen entwickelte Würmer, als auch die Larven derſelben ſtarben faſt augenblicklich in dieſem Gaſe; hatte die Einwirkung deſſelben jedoch nicht hinreichend lange ſtattgefunden, ſo erwachten die Thiere an der friſchen Luft wieder.

Kohlenſäure, kohlenſaures Gas, Luftſäure, Acide carbonique, carbonic acid. Chemiſche Formel: CO^2. Atomgewicht oder

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 135. Man vergleiche hierbei die Angabe von Cérot, Journ. de Pharm. et de Chim. [3] T. XXII. p. 289.

**) Compt. rend. T. XXX. p. 483.

***) Compt. rend. T. XXIX. p. 89.

Aequivalent: 275 oder 22. In 100 Theilen: C 27,27 und 072,73. Zuſammenſetzung dem Volumen nach:

½ Vol. Kohlenſtoffdampf	0,4145
1 Vol. Sauerſtoffgas	1,1052
	1,5197.

Die Kohlenſäure wurde bereits von Paracelſus im 16. Jahrh. und von van Helmont im 17. Jahrh. von der atmoſphäriſchen Luft unterſchieden und nach dem damaligen Sprachgebrauch wilder Geiſt oder wildes Gas (Spiritus sylvestris, Gas sylvestre) benannt. Das Auftreten derſelben erkannten ſie beim Brennen des Kalkes und bei der Gährung. Black entdeckte in der Mitte des 18. Jahrh., daß aus dem Kalkſtein und den ſogenannten milden Alkalien ein Gas durch die Hitze oder durch Uebergießen mit Säuren ausgetrieben werden könne, und daß daſſelbe identiſch ſei mit der Luftart, die von Thieren und Menſchen ausgeathmet werde und ferner bei der Gährung und der Verbrennung entſtehe. Er nannte dieſes Gas fixe Luft. Bergmann erkannte ſie darauf als eine Säure, die er Luftſäure nannte und deren Verhalten zu den Baſen er gleichfalls beſtimmte. Eine genaue Kenntniß der chemiſchen Natur der Kohlenſäure verdanken wir Lavoiſier.

Die Kohlenſäure bildet ſich bei den Vorgängen in der Natur auf verſchiedene Weiſe, weshalb ſie hier in ſo großer Menge vorkommt, wie nur wenig andere Körper. Aus dem Innern der Erde ſtrömt eine ungeheure Menge Kohlenſäure hervor, ſo daß dieſe Erſcheinung eine der großartigſten auf der Erdoberfläche darſtellt. Ueber die Entſtehungsweiſe dieſer Kohlenſäure-Aushauchungen iſt man noch nicht ganz im Klaren; die darüber aufgeſtellten Hypotheſen findet man in Biſchof's vortrefflichem Lehrbuch der chemiſchen und phyſikaliſchen Geologie erörtert. So viel ſcheint jedoch feſt zu ſtehen, daß dieſe Gasaushauchungen in den meiſten Fällen mit einer vulkaniſchen Thätigkeit innig zuſammenhängen; ſei es, daß man noch jetzt in der Nähe thätige Vulkane findet oder daß dieſe bereits erloſchen ſind. Auf ſolchen Gebieten — der Eifel, in der Nähe des Laacher Sees, der Wetterau ꝛc. — treten dieſe Gasausſtrömungen in ſolcher Zahl auf, daß man die Erdoberfläche einem Siebe gleich durchlöchert anſehen kann. Zum Theil gelangt hier die Kohlenſäure zugleich mit dem Waſſer an die Oberfläche der Erde, wodurch die zahlreichen Säuerlinge gebildet werden. Die Menge der austretenden Kohlenſäure iſt jedoch ſo bedeutend, daß das aufſteigende Waſſer nicht im Stande iſt alle Kohlenſäure fortzuſchaffen und deshalb treten neben den Säuerlingen in dieſen Gegenden oft ſo zahlreiche Mofetten (Gasquellen) auf, daß man ſie mitunter, wie zu Brohl in der Nähe des Laacher Sees, wo nach Biſchof innerhalb 24 Stunden etwa 600 Pfund Kohlenſäure dem Innern der Erde entſtrömen, zu techniſchen Zwecken (zu Bereitung von Bleiweiß) benutzt, indem man die Kohlenſäure durch ein Pumpwerk aufſaugt und durch Röhren dahin leitet, wo ſie verwendet werden ſoll. An Badeorten bedient man ſich dieſer enormen Kohlenſäureentwickelungen zu Gasbädern. Einen weiteren Nutzen könnte man daraus auf die Art ziehen, daß man die Kohlenſäure über glühende Kohlen leitete und dann das Kohlenoxydgas als Brennmaterial verwendete. Einige arteſiſche Brunnen liefern gleichfalls unausgeſetzt beträchtliche Mengen von freier Kohlenſäure; ſo z. B. das Bohrloch zu Neuſalzwerk mit Einſchluß der in der Soole gelöſten oder

gebundenen Kohlenſäure jährlich 24248976 Cubikfuß oder 27975 Centner und der große Sprudel zu Nauheim in jeder Minute 71 Cubikfuß oder jährlich über 45450 Centner, mithin eine Menge, wie ſie durch Verbrennung von $1^1/_2$ Mill. Pfund Steinkohlen oder durch Brennen von 12 Mill. Pfund Kalkſteinen entwickelt wird.

Ferner entſteht Kohlenſäure in großer Menge bei folgenden allgemeinen Vorgängen in der Natur: bei der Verbrennung, dem Athmen der Thiere und Menſchen, in Folge der Vegetation, bei der Verweſung und Fäulniß organiſcher Stoffe und bei der Gährung. Daß die Luft, welche wir ausathmen, Kohlenſäure enthält, davon kann man ſich ſehr leicht auf folgende Weiſe überzeugen. Treibt man mittelſt einer Glasröhre einige Minuten lang die Luft aus unſeren Lungen durch klares Kalkwaſſer, ſo entſteht ſehr bald eine merkliche Trübung darin, indem ſich kohlenſaurer Kalk gebildet hat. Der Gehalt der Kohlenſäure in der ausgeathmeten Luft ſchwankt zwiſchen 3,3 und 4,1 Proc.; am größten iſt er des Nachmittags, am geringſten während der Nacht.

Trotz dieſer zahlreichen Vorgänge in der Natur, die in ſo reichlicher Menge unausgeſetzt Kohlenſäure erzeugen, finden wir davon in der atmoſphäriſchen Luft doch nicht mehr als 0,0004 bis 0,0005 Volumen derſelben. Siehe hierüber den Art. Atmoſphäre. In geſchloſſenen Räumen oder an Orten, wo der Luftwechſel ein unvollkommener iſt, kann ſich die Kohlenſäure aus verſchiedenen Gründen, ſei es, daß hier viele Menſchen oder Thiere zuſammengedrängt oder gährende Flüſſigkeiten aufgeſtellt ſind oder eine Fäulniß und Gährung organiſcher Stoffe ſtattfindet, ſo anhäufen, daß das Athmen bedeutend erſchwert wird und ſogar Erſtickung eintreten kann, wenn die Luft nicht gewechſelt wird. Orte, wo dergleichen zu befürchten iſt, müſſen daher mit großer Vorſicht betreten werden. Gewöhnlich ſenkt man vorher eine brennende Kerze in ſolche Räume und glaubt, wenn dieſe fortbrennt, ſei keine Gefahr zu befürchten; eine vollſtändige Sicherheit erhält man hierdurch nicht immer, denn wenn man eine Luft, die nur 1 bis 2 Proc. Kohlenſäure enthält und in welcher eine Kerze fortbrennt, mehrere Stunden lang einathmet, ſo zeigen ſich nicht ſelten ſehr beunruhigende Zufälle. Ueberhaupt kann man dieſes Mittel nur dann anwenden, wenn man ſicher iſt, daß ſich an ſolchen Orten nicht zugleich auch brennbare Gaſe entwickeln.

Ein jedes Waſſer enthält Kohlenſäure in geringen Mengen. Zum Theil ſtammt ſie aus der atmoſphäriſchen Luft, zum Theil auch aus dem Innern der Erde her. Zumeiſt ſind es wohl die oberen Schichten, welche durch Verweſung organiſcher Subſtanzen dieſe Kohlenſäure liefern. Dem geringen Gehalt an Kohlenſäure verdankt das Waſſer ſeinen erfriſchenden Geſchmack; treibt man die Kohlenſäure durch Erwärmen aus oder geht ſie durch Stehen an der Luft verloren, ſo ſchmeckt das Waſſer fade.

Die Kohlenſäure macht auch einen Beſtandtheil der Erdoberfläche aus. Wir finden ſie hier namentlich an Kalk (als Kalkſpath, Marmor, Kreide, Kalkſtein), Magneſia oder an verſchiedene andere Metalloxyde gebunden. Die Schalen der Auſtern und Eier enthalten gleichfalls kohlenſauren Kalk; auch in den Knochen ſind geringe Mengen derſelben enthalten.

Läßt man Kohle oder kohlehaltige Subſtanzen auf Sauerſtoffverbindungen einwirken, welche den Sauerſtoff nicht ſehr feſt gebunden enthalten, ſo entſteht gleichfalls Kohlenſäure; ſo z. B. beim Erhitzen von Kohle mit Salpeterſäure,

Schwefelſäure, Braunſtein, ſalpeterſauren oder chlorſauren Salzen ꝛc. Eben ſo bei der Zerſetzung organiſcher Subſtanzen durch Erhitzen für ſich oder durch Einwirkung ſtarker Baſen, oxydirender Agentien ꝛc. Bei der Darſtellung der Kohlenſäure bedient man ſich jedoch in der Regel der in der Natur in reichlicher Menge vorkommenden kohlenſauren Salze, die man mit Salpeterſäure, Schwefelſäure oder Chlorwaſſerſtoffſäure übergießt. Gewöhnlich wendet man hierzu kohlenſauren Kalk an. Der Marmor verdient den Vorzug, weil der gewöhnliche kohlenſaure Kalk oder die Kreide ſehr oft organiſche Subſtanzen eingeſchloſſen enthalten, die dem Gaſe einen unangenehmen Geruch ertheilen. Schwefelſäure iſt hier weniger zu empfehlen, weil der ſich bei der Entwickelung des Gaſes bildende ſchwefelſaure Kalk unlöslich iſt; er umgiebt den noch nicht zerſetzten Kalk und hindert ſo die Einwirkung der Säure. Salpeterſäure und Chlorwaſſerſtoffſäure ſind daher mehr zu empfehlen. Bei Anwendung der letzteren kann die Kohlenſäure durch Chlorwaſſerſtoffſäure verunreinigt werden, weil letztere in Folge der Wärme, die bei der Einwirkung der Säure entſteht, leicht verdampft. Es iſt daher gut, die Kohlenſäure vor der Verwendung durch Waſſer oder durch eine Löſung von doppelt-kohlenſaurem Natron ſtrömen zu laſſen, wodurch die Chlorwaſſerſtoffſäure zurückgehalten wird.

Wegen der werthvollen Nebenproducte, die man erhält, wendet man in neuerer Zeit auch andere kohlenſaure Salze zur Entwickelung der Kohlenſäure an; ſo z. B. Magneſit (kohlenſaure Magneſia), die mit Schwefelſäure Bitterſalz liefert. Auch der Strontianit (kohlenſaurer Strontian) kommt jetzt ſo billig vor, daß man ſich ſeiner zu gleichem Zwecke bedient, um nebenbei Strontianſalze zu gewinnen.

Kommt es darauf an, die Kohlenſäure frei von Luft anzuwenden, ſo läßt man die Entwickelung einige Zeit vorher eintreten, um die in den Apparaten enthaltene atmoſphäriſche Luft durch die Kohlenſäure auszutreiben. Wird das ſich entwickelnde Gas gänzlich von Kalilauge abſorbirt, ſo iſt es rein. In dieſen Fällen muß man die Kohlenſäure über Queckſilber auffangen oder wenigſtens das Waſſer auskochen, damit es frei von Luft iſt.

Die Entwickelung von Kohlenſäure iſt eine Operation, die in chemiſchen Laboratorien ſehr häufig vorzunehmen iſt. Man thut daher gut, ſtatt der gewöhnlichen Gasentwickelungsapparate einen anderen Apparat zu dieſem Zweck einzurichten, der dem bekannten Döbereiner'ſchen Feuerzeuge ähnlich iſt. Unter die Glocke ſetzt man auf einen Dreifuß, der von der Säure nicht angegriffen wird, eine durchlöcherte Schale von Glas oder Porzellan, welche zur Aufnahme des kohlenſauren Salzes dient. Das Austrittsrohr iſt rechtwinkelig gebogen; es ſetzt ſich einige Zolle horizontal fort und iſt mit einem Hahne verſehen, wodurch ein jeder unnöthige Verluſt an Gas vermieden wird.

Handelt es ſich darum für techniſche Zwecke Kohlenſäure in großer Menge darzuſtellen, ſo bedient man ſich der Billigkeit wegen häufig anderer Methoden. Man verbrennt z. B. Kohlen in verſchloſſenen, mit einem Blaſebalg verſehenen Oefen. Man läßt hier das Gas durch Waſſer gehen, um es zu waſchen, d. h. um es von den mit fortgeriſſenen Ruß- oder Aſchentheilchen zu befreien. Oder man glüht ein Gemenge von Braunſtein, kohlenſaurem Kalk und Kohle. Durch Einwirkung der Kohle auf den kohlenſauren Kalk entſteht Kohlenoxydgas, das durch den Braunſtein zu Kohlenſäure oxydirt wird. An manchen Orten erzeugt man zu dieſen Zwecken die Kohlenſäure nicht direct, ſondern benutzt die gelegent-

liche Entwickelung derselben; z. B. die in der Natur vorkommenden Gasströmungen oder die Kohlensäure-Entwickelung bei der Gährung der Bierwürze oder der Branntweinmaische.

Die Kohlensäure ist bei dem gewöhnlichen Luftdruck ein farbloses Gas, das einen eigenthümlichen schwachen stechenden und sauren Geruch besitzt. Es schmeckt zugleich auch sauer. Die Kohlensäure ist jedoch eine der schwächsten Säuren und wird daher von den meisten anderen Säuren unter Aufbrausen ausgetrieben, indem sie plötzlich als Gas entweicht. Befeuchtetes Lackmuspapier wird durch Kohlensäure zwar geröthet, da sie aber sehr flüchtig ist, so verschwindet die Röthung sehr bald wieder. An und für sich ist die Kohlensäure kein Gift; da sie aber den Sauerstoff sehr fest gebunden enthält, so ist sie weder tauglich die Verbrennung, noch das Athmen zu unterhalten. Ein brennender Spahn, so wie ein jeder anderer brennender Körper erlischt, wenn man ihn in Kohlensäuregas eintaucht; eben so sterben darin kleine Thiere sehr bald. Die gewöhnliche Luft kann jedoch ziemlich viel Kohlensäure enthalten, nach Berzelius $^1/_{20}$ ihres Volumens, ohne gerade nachtheilig auf den thierischen Organismus zu wirken. Ist der Luft ein Viertel ihres Volumens Kohlensäuregas beigemengt, so vermag sie nicht mehr die Verbrennung zu unterhalten.

Nimmt das Sauerstoffgas Kohlenstoff auf, so ist das Volumen der dadurch entstandenen Kohlensäure bei gleichen Temperatur- und Druckverhältnissen genau so groß, wie vorher das Volumen des Sauerstoffgases; durch das Hinzutreten des Kohlenstoffs wird aber das Gewicht desselben Gasvolumens bedeutend vermehrt. Dies ist die Ursache des hohen specifischen Gewichtes, welches das Kohlensäuregas besitzt. Die verschiedenen Angaben hierüber stimmen unter einander nicht überein. Biot und Arago geben das specif. Gew. des Kohlensäuregases = 1,5196 an, Berzelius und Dulong, welche die Abweichung dieses Gases von dem Mariotte'schen Gesetze *) nicht kannten, = 1,524 und Wrede = 1,5201. Das specif. Gew. des Kohlensäuregases ist also bedeutend höher als das der atmosphärischen Luft. Leitet man die Kohlensäure auf den Boden eines aufrechtstehenden Cylinders, so wird die Luft nach und nach ausgetrieben und man kann dann das Gas wie eine Flüssigkeit in ein anderes Gefäß ausgießen. Wegen der Schwere des Kohlensäuregases sammelt sich dasselbe, da wo es sich entwickelt, am Boden oder in den unteren Regionen an. Daher kommt es, daß in der bekannten Hundsgrotte zu Pausilippo bei Puzzuoli kleinere Thiere, welche mit ihren Athmungswerkzeugen über diese Schichten nicht hinausragen, ersticken, während der Mensch bei seinem aufrechten Gange keine Beschwerden verspürt.

Ueber das Verhalten der Kohlensäure zum Wasser und anderen Flüssigkeiten vergl. die Art. Absorption und Mineralwässer, künstliche. Wasser, welches mit Kohlensäure beladen ist, besitzt eine große Auflösungsfähigkeit für viele Substanzen **). Das in der Natur vorkommende Wasser enthält stets Kohlensäure und daher stammt auch ein Theil des Gehaltes an festen Bestandtheilen darin, die es beim Durchgang durch die verschiedenen Erdschichten aufnimmt. Das Auf-

*) Vergl. hierüber die Art. Gas und Ausdehnung.

**) Sillim. americ. Journ. [2] Vol. V. p. 401. Chem. pharm. Centralblatt 1848. S. 849.

löſungsmittel iſt hier nicht das Waſſer, ſondern die Kohlenſäure; verfliegt dieſe beim Stehen an der Luft oder treibt man ſie durch Wärme aus, ſo fallen die vorher aufgelöſten Verbindungen (alkaliſche Erden, Talkerde, Eiſen- und Manganoxydul) wieder nieder.

Kalium und Natrium entziehen der Kohlenſäure in der Wärme den Sauerſtoff, wobei ſich die Kohle ausſcheidet. Im Allgemeinen iſt die Kohlenſäure eine ſehr beſtändige Verbindung, die nicht leicht zerſetzt werden kann. Ein Zerfallen derſelben in Kohlenoxyd- und Sauerſtoffgas kann jedoch auf verſchiedene Weiſe herbeigeführt werden, wie dies ſchon weiter oben angedeutet worden iſt.

Die Kohlenſäure kann in den tropfbarflüſſigen und feſten Zuſtand übergeführt werden. Das Nähere hierüber wird im Art. Verdichtung der Gaſe mitgetheilt werden.

In der Technik benutzt man die Kohlenſäure nur bei der Darſtellung kohlenſaurer Salze und bei der der künſtlichen Mineralwäſſer. Als Erkennungsmittel der Kohlenſäure im gasförmigen Zuſtande dient Kalk- oder Barytwaſſer, die dadurch getrübt werden, indem kohlenſaurer Kalk oder Baryt niederfällt. Der Menge nach wird die Kohlenſäure durch Abſorption mittelſt Kalilauge beſtimmt. Bei der Unterſuchung von Mineralwäſſern beſtimmt man die darin vorhandene freie Kohlenſäure dadurch, daß man eine gewogene oder gemeſſene Menge des Waſſers mit einer klaren Löſung von Chlorcalcium oder beſſer Chlorbarium, der Ammoniak in Ueberſchuß zugeſetzt worden iſt, miſcht. Den Niederſchlag filtrirt man nach dem Abſetzen bei abgehaltener Luft ab, wäſcht ihn mit ammoniakhaltigem Waſſer aus und glüht ihn nach dem Trocknen gelinde. — Bei der Beſtimmung der Kohlenſäure in ihren Verbindungen mit Baſen treibt man die Kohlenſäure, wenn man es mit waſſerfreien Subſtanzen zu thun hat, entweder durch Glühen oder durch ſtärkere Säuren aus. Im letzteren Falle wird dem Entweichen von Waſſergas durch ein Chlorcalciumrohr vorgebeugt. Der Gewichtsverluſt zeigt die Menge der Kohlenſäure an. Entwickelt eine Subſtanz, deren Kohlenſäuregehalt auf die letztere Weiſe beſtimmt werden ſoll, gleichzeitig ſalzſaures Gas oder Schwefelwaſſerſtoff, ſo wird das Entweichen der letzteren nach Vohl *) durch einen Zuſatz von Queckſilberoxyd verhindert. Unter den Apparaten, die in der neueren Zeit für die quantitative Beſtimmung der Kohlenſäure mittelſt Austreiben durch ſtärkere Säuren conſtruirt worden ſind, verdient der von Geißler in Berlin **) beſondere Beachtung.

Mit den Baſen bildet die Kohlenſäure eine Reihe von Salzen (Carbonate, Carbonates), von denen viele eine große Wichtigkeit beanſpruchen, indem ſie theils eine ausgedehnte Anwendung in der Technik erhalten haben, theils auch in der Natur ſehr verbreitet vorkommen. Je ſtärker die baſiſchen Eigenſchaften der Oxyde ſind, um ſo leichter verbindet ſich die Kohlenſäure damit; doch ſpielt die Gegenwart des Waſſers hierbei eine große Rolle. Die Verwandtſchaft zwiſchen der Kohlenſäure und den Baſen iſt nur eine geringe; durch Glühen wird die erſtere ausgetrieben. Nur die kohlenſauren Alkalien verflüchtigen ſich ohne Zerſetzung; durch Waſſerdampf wird aber auch hier die Kohlenſäure zwar langſam aber doch

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXVI. S. 247.
**) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LX. S. 33.

vollständig ausgetrieben. Außer den neutralen Salzen, in denen der Sauerstoffgehalt der Säure das Doppelte von Sauerstoffgehalt der Base beträgt, bildet die Kohlensäure auch noch mit vielen Basen saure Salze (Bicarbonate). Während die neutralen Alkalisalze leicht löslich sind und die übrigen neutralen Salze der Kohlensäure unlöslich oder doch wenigstens sehr schwer löslich, lösen sich die sauren Salze der ersteren weit schwerer in Wasser und die sauren kohlensauren Salze der übrigen Basen existiren nur in aufgelöstem Zustande. Bei letzteren entweicht die Kohlensäure schon bei gewöhnlicher Temperatur und das einfache kohlensaure Salz fällt nieder. Im Allgemeinen erkennt man die kohlensauren Salze durch das Aufbrausen beim Uebergießen mit Säuren; will man hier vor Täuschung sicher sein, so muß man das sich entwickelnde Gas durch klares Kalk- oder Barytwasser leiten.

Obgleich der Kohlenstoff sich nicht direct mit dem Wasserstoff vereinigen läßt, so existiren dennoch eine große Zahl von Verbindungen dieser Art (Kohlenwasserstoffe). Sie entstehen alle nur aus organischen Körpern, viele, wie die zahlreiche Klasse der ätherischen Oele, die sogenannten fossilen Harze ꝛc. kommen in der Natur fertig gebildet vor, andere entstehen hier bei der Fäulniß, noch andere erhalten wir bei der trockenen Destillation organischer Körper, die arm an Sauerstoff, aber reich an Wasserstoff sind oder durch Elektrolyse. Die zahlreichen Verbindungen der Kohlenwasserstoffe treten in allen drei Aggregatzuständen auf. Wir betrachten hier nur das leichte und das schwere Kohlenwasserstoffgas näher.

Leichtes Kohlenwasserstoffgas, Halbkohlenwasserstoff, Wasser-Subcarbonat, Methylwasserstoff, Gas hydrogène proto-carboné, Bihydroguret of carbon, Sumpfgas, Gas inflammable des marais, Grubengas, schlagendes Wetter, feuriger Schwaden, feu terrou, grisou oder brisou, fire damp. Chemische Formel: H^2C. Atomgewicht oder Aequiv.: 100 (O = 100) oder 8 (H = 1). In 100 Theilen: C 75, H 25. Zusammensetzung dem Volumen nach:

2 Vol. Wasserstoffgas . . .	0,1382
½ Vol. Kohlenstoffdampf . .	0,4145
1 Vol. Kohlenwasserstoffgas .	0,5527

Die Namen Sumpf- und Grubengas zeigen an, daß dieses Gas häufig in der Natur vorkommt. Es erzeugt sich stets bei der Fäulniß von Holz oder Pflanzen überhaupt unter Wasser oder bei beschränktem Luftzutritt. Man kann daher dieses Gas leicht sammeln, wenn man Sümpfe oder andere schlammige stehende Gewässer aufrührt. Die zahlreich aufsteigenden Gasblasen fängt man in einer mit Wasser gefüllten Flasche, auf deren Hals unter Wasser ein Trichter gesteckt wurde, auf. Neben dem Kohlenwasserstoff sind in diesem Gase noch 10 bis 20 Proc. Kohlensäure, die leicht durch Kalkwasser entfernt werden kann, und geringe Mengen Stickstoffgas enthalten.

Daß an vielen Orten Kohlenwasserstoffgas der Erde in beträchtlichen Mengen entströmt, haben wir bereits im Art. Gasbeleuchtung (Bd. III. S. 429) berichtet. Ueberall ist die Entstehung dieser Gasquellen noch nicht erklärt; vulkanischer Natur scheinen sie nicht unbedingt zu sein, da sie auch in Gegenden auftreten, die sehr fern von Vulkanen liegen.

Eine andere Quelle für die fortdauernde Bildung des leichten Kohlenwasserstoffgases sind die Steinkohlenlager. In diesen finden sich zahlreiche Höhlungen,

welche das Gas eingeschlossen enthalten. Beim Abbauen der Steinkohlen gelangt das Gas in Freiheit, so wie es auch andauernd, besonders bei niedrigem Barometerstande, den zahlreichen Rissen und Klüftungen entströmt. Die Ansammlungen des Gases in den Gängen der Kohlenbergwerke sind eine große Plage für den Bergmann, indem dadurch nicht allein die Luft verdorben wird, sondern auch durch die Vermischung mit der atmosphärischen Luft ein höchst gefährliches, leicht explodirendes Gasgemenge entsteht, das bereits große Verheerungen angerichtet hat und fortdauernd noch anrichtet. Aus diesen Gründen muß besondere Sorgfalt auf die Fortführung dieser bösen Wetter durch einen starken Luftzug verwendet werden. Zuweilen findet eine gleiche Gasentwickelung auch bei lagernden Steinkohlen in Magazinen und Schiffen statt. — Aus manchen Mineralquellen, z. B. den Schwefelquellen von Aachen und Nenndorf, der Adelheidsquelle zu Heilbrunn in Oberbayern, den Quellen der Herkulesbäder im Banat, entwickelt sich auch Grubengas, wenn schon in geringer Menge. Bei einer erbohrten, Steinöl gebenden Salzquelle in der Nähe von Hannover macht das Grubengas den Hauptbestandtheil des sich entwickelnden Gases; eben so bei dem Gasgemenge, welches sich im Steinsalz von Wieliczka, dem sogenannten Knisterſalz, eingeschlossen vorfindet.

Ferner tritt das leichte Kohlenwasserstoffgas auf bei der trockenen Destillation organischer Stoffe; doch hier ist es stets gemischt mit anderen Kohlenwasserstoffen, Kohlensäure, Kohlenoxyd und Wasserstoffgas. Ein ähnliches Gasgemenge erhält man, wenn man Alkoholdämpfe durch ein dunkelrothglühendes Porzellanrohr oder Flintenrohr streichen läßt. Auf gleiche Weise wird auch das schwere Kohlenwasserstoffgas in das leichte umgewandelt. Aus den angeführten Gründen geht hervor, daß das sogenannte Leuchtgas bedeutende Mengen von leichtem Kohlenwasserstoffgase enthalten muß.

Rein stellt man das Gas auf folgende Art dar. Persoz empfiehlt geschmolzenes Barythydrat und wasserfreies essigsaures Natron genau nach dem Verhältniß ihrer Mischungsgewichte zu mischen und zu erhitzen. Bei der hierdurch bewirkten Zersetzung treten die Elemente der Essigsäure und des Wassers $= C^4 H^3 O^3 + HO$ oder $C^4 H^4 O^4$ zu 2 Aeq. Kohlenwasserstoff $= 2 (H^2 C)$ oder $H^4 C^2$ und 2 Aeq. Kohlensäure $= 2 (CO^2)$ oder $C^2 O^4$ zusammen. Letztere wird durch das Natron aus dem Baryt zurückgehalten. Dumas ersetzt das Barythydrat durch Kalihydrat und gebrannten Kalk.

Das Gas ist farblos und besitzt einen schwachen unangenehmen Geruch. Wasser nimmt davon nur $^1/_{11}$ dem Raume nach auf. Es ist brennbar und verbrennt mit einer gelblichen, wenig leuchtenden Flamme zu Kohlensäure und Wasser, wobei es das doppelte Volumen Sauerstoffgas verzehrt. Wie schon angeführt, explodirt es mit Luft gemischt heftig. Beträgt die Luftmenge viel weniger oder viel mehr (über 10 Vol.), als zur vollständigen Verbrennung nothwendig ist, so explodirt das Gemenge nicht. Mit 8 Vol. Luft gemischt explodirt es am heftigsten, bei 6 Vol. nur schwach und bei 4 Vol. gar nicht. Beim Einathmen verursacht es Schwindel und Brustbeklemmung: kleinere Thiere sterben darin sehr bald.

Schweres Kohlenwasserstoffgas, ölbildendes Gas, Wasserstoffcarburet, Gas hydrogène percarboné, Gas oefiant, Hydroguret of carbon, auch Elaylgas, Aetheringas, Vinylgas genannt. Chemische Formel: HC. Atomgewicht oder Aequivalent: 87,5 (O = 100) oder 7 (H = 1). In 100 Theilen: 85,7 C und 14,3 H. Zusammensetzung dem Volumen nach:

Digitized by Google

2 Vol. Waſſerſtoffgas	0,138200
1 Vol. Kohlenſtoffdampf	0,829275
1 Vol. ſchweres Kohlenwaſſerſtoffgas .	0,967475

Als Entdecker dieſes Gaſes haben wir die holländiſchen Chemiker Deimann, Paeti van Trooſtwyk, Bondt und Lauwerenburgh (1795) anzuſehen. Gewöhnlich findet man in den Lehrbüchern der Chemie die Angabe, daß dieſes Gas in der Natur nicht vorkomme; nach Biſchof aber ſoll es in geringer Menge in den feurigen Schwaden der Steinkohlenbergwerke enthalten ſein. Es bildet ſich jedoch in reichlicher Menge bei der trockenen Deſtillation vieler organiſcher Körper, namentlich bei denen, welche reich an Waſſerſtoff und arm an Sauerſtoff ſind, wie z. B. bei der trocknen Deſtillation des Wachſes, der Harze, Fette, des Kautſchuks, der Steinkohlen ꝛc. Ueber das Leuchtgas und über den Antheil, den das ſchwere Kohlenwaſſerſtoffgas daran hat, vergl. d. Art. Gasbeleuchtung. In neueſter Zeit ſpricht Vitſchke *), geſtützt auf eine Unterſuchung des Berliner Leuchtgaſes (der engliſchen Geſellſchaft) die Behauptung aus, daß das Elaylgas durchaus nicht von der Bedeutung für die Leuchtfähigkeit des Steinkohlengaſes iſt, als man bis jetzt ſo allgemein angenommen hat, da die in dem Gaſe gefundene Menge Elayl viel zu unbedeutend iſt, als daß ſie beim Leuchten des Gaſes überhaupt thätig ſein könnte. Nach ihm verdankt das Leuchtgas ſeine Leuchtkraft namentlich dem Benzin, wobei eine Mitwirkung des Naphthalins wohl nicht auszuſchließen iſt. Daß in dem Leuchtgaſe, beſonders in dem aus Harz bereiteten, große Mengen von Benzin enthalten ſind, hat bereits früher ſchon Böttger **) ausgeſprochen; eben ſo, daß daſſelbe weſentlich zur Erhöhung der Lichtintenſität der Flamme mit beitrage.

Will man das ölbildende Gas rein darſtellen, ſo erhitzt man ein Gemenge von 1 Th. Alkohol und 6 bis 7 Th. concentrirter Schwefelſäure. Um die gleichzeitig ſich verflüchtigende ſchweflige Säure, Aether- und Alkoholdämpfe zu entfernen, leitet man das Gas durch Kalkmilch und concentrirte Schwefelſäure. Nach und nach ſchwärzt ſich das Gemenge und erſtarrt endlich in Folge der vorſchreitenden Bildung der Thiomelanſäure ***). Nach Mitſcherlich ****) kann man durch eine verhältnißmäßig geringe Menge Schwefelſäure eine große Menge Elaylgas darſtellen. Zu dieſem Ende miſcht man 10 Th. concentrirter Schwefelſäure mit 3 Th. Waſſer und erhitzt ſo lange, bis der Kochpunkt conſtant bei 165° liegt; dann läßt man in einem feinen Strahl andauernd Alkohol einfließen, ſo daß dadurch die Temperatur nicht bedeutend verringert wird. Dieſe Methode gewährt den Vortheil, daß keine ſchweflige Säure hierbei entſteht; Alkohol- und Aetherdämpfe verflüchtigen ſich auch hier und darum muß man für deren Beſeitigung Sorge tragen.

Der Vorgang bei beiden Methoden iſt einfach der, daß der Alkohol durch die Schwefelſäure entwäſſert wird, wie dies die nachſtehende Formel deutlich macht:

*) Arch. d. Pharm. [2] Bd. LXXXI. S. 257.
**) Jahresb. d. phyſ. Ver. z. Frankfurt a. M. 1852—53. S. 21.
***) Schweigger's Journ. Bd. XLI. S. 319 Journ. f. prakt. Chem. Bd. XV. S. 13 u. Bd. XXI. S. 291 Pogg. Ann. Bd. XLVII. S. 619.
****) Ann. de Chim. et de Phys. [3] T. VII. p. 12.

$$\underbrace{C^4\,H^6\,O^2}_{\text{Alkohol}} = \underbrace{C^4\,H^4}_{\text{Oelbildendes Gas.}} + 2\,H\,O$$

Das ölbildende Gas iſt farblos, ohne Geſchmack und beſitzt einen unangenehmen Geruch. Es iſt nicht athembar; in geringen Mengen der Luft beigemiſcht erzeugt es Kopfweh und Schwindel; im reinen Zuſtande wirkt es tödtlich. Vom Waſſer wird es nur in geringen Mengen aufgenommen ($^1/_8$ bis $^1/_6$ Vol.); eben ſo von concentrirter Schwefelſäure, Alkohol und Aether; von waſſerfreier Schwefelſäure dagegen in großer Menge, wobei ſich Kryſtalle von waſſerfreier Aethionſäure bilden. Ueber die Zerſetzung des ölbildenden Gaſes in der Hitze haben wir bereits in dem Art. Gasbeleuchtung geſprochen.

Das Elaylgas brennt mit ſtark leuchtender Flamme. Zur vollſtändigen Verbrennung bedarf 1 Vol. des Gaſes 3 Vol. Sauerſtoffgas oder 15 Vol. atmoſphäriſcher Luft, womit es zu Waſſer und Kohlenſäure verbrennt. Mit Sauerſtoff oder Luft gemiſcht detonirt es durch den elektriſchen Funken oder bei Annäherung eines brennenden Körpers. Nach Döbereiner*) ſoll ein Gemenge von Elaylgas und Sauerſtoffgas durch Platinmohr in Eſſigſäure verwandelt werden.

Läßt man anhaltend elektriſche Funken durch das Gas ſchlagen, ſo wird es zerlegt in Waſſerſtoffgas und Kohle. Leichter und überraſchender läßt ſich das Vorhandenſein von Kohle in dem farbloſen Gaſe auf folgende Weiſe zeigen. Man miſcht das Elaylgas mit dem doppelten Volumen Chlorgas und entzündet das Gemenge ſogleich, bevor eine gegenſeitige Einwirkung ſtattfinden kann. Unter der Bildung von Chlorwaſſerſtoffſäure ſcheidet ſich die Kohle reichlich als feiner Ruß ab. Mit dem gleichen Volumen Chlor bildet das Elaylgas bei Gegenwart von Waſſer eine ölige Flüſſigkeit (holländiſche Flüſſigkeit, Elaylchlorür $C^2\,H^2\,Cl$). Davon ſtammt auch der Name ölbildendes Gas her, der aber jetzt nicht mehr bezeichnend iſt, da man weiß, daß das Sumpfgas ein Gleiches thut. Auf die übrigen Verbindungen des Elaylgaſes mit Chlor**), ſo wie auf die mit Brom und Jod können wir hier nicht weiter eingehen.

Nicht allein durch ſeine Entſtehungsweiſe aus organiſchen Körpern, ſondern mehr noch durch ſein chemiſches Verhalten, da es ſowohl die Rolle eines Radikals als auch eines Paarlings übernimmt, gehört das Elaylgas in die organiſche Chemie. Es verbindet ſich ſowohl mit Elementen und zuſammengeſetzten Radikalen, als auch mit Oxyden. Durch die Einfachheit ſeiner Conſtitution nähert es ſich zwar ſehr den unorganiſchen Verbindungen und dadurch rechtfertigt man auch bisweilen die Abhandlung deſſelben unter den Verbindungen des Kohlenſtoffs in der unorganiſchen Chemie.

Wir haben oben die einfachſte Formel, die ſich aus der procentiſchen Zuſammenſetzung des ölbildenden Gaſes ableiten läßt, gewählt. Ueber die Conſtitution dieſes Gaſes herrſchen jedoch unter den Chemikern verſchiedene Anſichten. So nennt Berzelius das ölbildende Gas, wenn es die Rolle eines Radikales

*) Ann. d. Chem. und Pharm. Bd. XIV. S. 14.

**) Ueber die in neueſter Zeit erfolgte Anwendung dieſer Präparate zu örtlichen Anäſtheſirungen vergleiche man Compt. rend. T. XXXI. p. 845 u. T. XXXII. p. 25. Jahresberichte über die Fortſchritte der Pharmacie 1852. S. 132. Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXXII. S. 217.

übernimmt, Elaylgas und leitet aus der holländiſchen Flüſſigkeit dafür die Formel $C^2 H^2$ ab, während Dumas, Boullay und Mitſcherlich aus der Abſcheidung von 2 At. HO aus dem Alkohol ($C^4 H^5 O + HO$) durch Schwefelſäure, wie wir oben dargeſtellt haben, die Formel $C^4 H^4$ und den Namen Aetheringas ableiten. Eine dritte Anſicht über die Conſtitution des ölbildenden Gaſes haben Regnault und Liebig aufgeſtellt, die es als die Waſſerſtoffverbindung eines zuſammengeſetzten Radikals $C^4 H^3$, Acetyl oder Aldehydene genannt, anſehen und ihm den Namen Acetyl- oder Aldehydenwaſſerſtoff ($C^4 H^3 + H$) geben.

Nach der Anſicht von Dumas und Mitſcherlich wäre demnach der Aether ($C^4 H^4 + HO$) das erſte und der Alkohol ($C^4 H^4 + 2 HO$) das zweite Hydrat des Radikals $C^4 H^4$. Gegen dieſe Anſicht gewann in neuerer Zeit wegen der ſonſtigen Zerſetzungsweiſen des Alkohols die Meinung von Berzelius, der den Aether ($C^4 H^5 + O$) als das Oxyd und den Alkohol ($C^4 H^5 + O + HO$) als das Oxydhydrat eines Radikals $C^4 H^5$ anſieht, die Oberhand, zumal dieſes Radikal (Aethyl) wirklich von Frankland dargeſtellt worden iſt. Löwig, Schweitzer, Wöhler, Landolt u. A. haben zwar nicht allein die Verbindungen dieſes Radikals, ſondern auch die des Methyls und Amyls (aus dem Holzgeiſt und Fuſelalkohol) mit Arſen, Zinn, Tellur ꝛc., und die Amide dargeſtellt, aber Keinem iſt es gelungen dieſe Radikale mit Sauerſtoff zu verbinden; das Oxyd oder das Oxydhydrat, alſo Aether und Alkohol hat man auf dieſe Weiſe nicht darſtellen können. Dagegen hat die Anſicht von Dumas und Mitſcherlich durch Berthollet in neueſter Zeit eine neue Stütze erlangt, indem es dieſem Chemiker gelungen iſt, einfach mit Hülfe von Schwefelſäure aus dem Leuchtgaſe Alkohol darzuſtellen *).

Berthollet füllte einen luftleer gepumpten Kolben mit 31 bis 32 Liter ölbildendem Gaſe, goß dann nach und nach 900 Grm. concentrirte Schwefelſäure und einige Kilogrm. Queckſilber dazu und ſchüttelte das Ganze fleißig um. Nach 4 Tagen oder 53,000 Umſchüttelungen war die Abſorption des Gaſes ſehr ſchwach; 30 Liter davon waren abſorbirt. Die Schwefelſäure hatte den Geruch und die Farbe angenommen, die einer Miſchung von Schwefelſäure und Alkohol eigenthümlich ſind. Die Schwefelſäure wurde nun mit 5 bis 6 Volumen Waſſer verdünnt der Deſtillation unterworfen, wobei 52 Grm. Alkohol oder 45 Grm. abſoluter Alkohol erhalten wurden. Die Ausbeute entſpricht $^3/_4$ des Gaſes; der Reſt iſt während der Operation verloren gegangen. Der Alkohol glich in allen ſeinen Eigenſchaften dem gewöhnlichen, nur beſaß er einen brenzlichen und ſcharfen Geruch und Geſchmack; mit Schwefelſäure und Sand, wie Wöhler vorgeſchlagen hat, erhitzt, lieferte er wiederum normales ölbildendes Gas. Eben ſo konnten aus dieſem Alkohol auch die ihm zugehörigen zuſammengeſetzten Aether dargeſtellt werden.

Berthollet hat auch mit dem gewöhnlichen Leuchtgaſe operirt, dem er das darin enthaltene ölbildende Gas durch Jod entzog. Die Reſultate waren hier dieſelben. Zum erſten Male alſo iſt der Alkohol ohne Gährung und zuckerhaltige Stoffe dargeſtellt worden.

Mit Stickſtoff verbindet ſich der Kohlenſtoff nur in statu nascenti oder unter Mitwirkung anderer Körper. Glüht man z. B. Thierkohle mit kohlenſaurem Kali,

*) Compt. rend. T. XI. p. 102. Journ. de Chim. et de Pharm. [3] T. XXVII. p. 320.

ſo entſteht aus dem Stickſtoff der erſteren und dem Kohlenſtoff des letzteren eine beſtimmte Verbindung, das Cyan *) (C^2N oder Cy), auch Cyanogen, Blauſtoff genannt. Außerdem aber können wir das Cyan auf höchſt mannichfaltige Weiſe darſtellen, doch tritt es bei dieſen verſchiedenen Proceſſen nie iſolirt auf, ſondern ſtets in Verbindung mit Metallen oder Waſſerſtoff. Unter den erſteren dient beſonders das Cyanqueckſilber zur Darſtellung des Cyan im freien Zuſtande; beim Erhitzen tritt die Zerlegung ein und das Cyan entweicht als ein farbloſes Gas von durchdringendem, ſtechendem Geruch. Man fängt das Gas über Queckſilber auf, da Waſſer davon ſein $4^1/_2$ faches, Alkohol ſogar ſein 23faches Volumen verſchluckt. Wohlfeiler ſtellt man das Cyan dar nach Berzelius durch Erhitzen eines Gemenges von Cyankalium mit Queckſilberchlorid ($KCy + HgCl = KCl + Hg + Cy$) oder nach Kemp **) von Queckſilberchlorid und Blutlaugenſalz, der gewöhnlichſten Cyanverbindung des Handels ($2HgCl + K^2FeCy^3 = 2KCl + FeCy + 2Hg + 2Cy$).

In der Natur tritt das Cyan eben ſo wenig im freien Zuſtande auf und auch die Verbindungen deſſelben werden ſehr ſelten gefunden; nur in wenigen complicirten Pflanzen- und Thierſtoffen treten ſie auf (Amygdalin, Kaffein, Harnſtoff) und ſelbſt hier iſt es zweifelhaft, ob ſie in der That ſchon fertig gebildetes Cyan enthalten. — Bunſen und Playfair haben Cyan in den mit Steinkohlen beſchickten Hohofengaſen gefunden (1,34 Proc. ***). Es iſt ihnen gelungen, den Ort zu ermitteln und die Bedingungen feſtzuſtellen, wo und unter welchen die Bildung deſſelben im Ofen erfolgt. Es wäre dies eine reiche Quelle für die Darſtellung der techniſch wichtigen Cyanverbindungen, da ein einziger Hohofen zu Alfreton täglich allein 224,7 Pfund Cyankalium lieferte. Freilich wäre erſt durch die Erfahrung feſtzuſtellen, ob dieſe Cyankaliumbildung auch eine nachhaltige ſei.

Das Cyangas brennt mit ſchön violetter Flamme. Die Löſungen des Gaſes in Waſſer und Alkohol zerſetzen ſich ſehr leicht; ſie verlieren ſehr bald die Farbloſigkeit, indem ſie ſich bräunen und trüben. Wir haben hier ein ſehr intereſſantes Beiſpiel einer außerordentlichen Umſetzungsfähigkeit einfach zuſammengeſetzter Körper, indem hier nicht weniger denn 8 neue Verbindungen entſtehen, nämlich: Blauſäure, Kleeſäure, Kohlenſäure, Cyanſäure, Azulanſäure (Paracyan), Ameiſenſäure, Harnſtoff und Ammoniak.

Für die Wiſſenſchaft iſt das Cyan, welches 1815 durch Gay-Luſſac ****) entdeckt worden iſt, von großer Wichtigkeit geworden, indem es durch ſein chemiſches Verhalten Veranlaſſung gab zur Aufſtellung der Lehre von den zuſammengeſetzten Radicalen, deren wichtigſten Stützpunkt es noch heute abgiebt. Auch noch in anderer Beziehung iſt das Cyan, wie wir weiter unten ſehen werden, für die Wiſſenſchaft höchſt wichtig geworden.

Gegen die Metalle und Metalloide verhält ſich das Cyan, obgleich es ein zuſammengeſetzter Körper iſt, den Haloiden (Chlor, Brom und Jod) ganz analog. Es vertritt mithin in ſeinen Verbindungen die Stelle eines Elementes. — Obgleich

*) Der Name ſtammt her von κυανος, blau, und bezieht ſich auf die älteſte bekannte Verbindung des Cyans, das Berlinerblau.

**) Ann. d. Chem. u. Pharm Bd. XLVIII. S. 143.

***) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLII. S. 392.

****) Ann. de Chim. T. LXXVII. p. 128 u. T. XCV. p. 136.

das Cyan zum Sauerſtoff keine große Verwandtſchaft zeigt, d. h. ſich nicht direct mit ihm verbindet, ſo laſſen ſich doch auf indirectem Wege fünf verſchiedene Verbindungen darſtellen, von denen 4 den Charakter der Säuren tragen. Sie zeigen das Eigenthümliche, daß ſie alle eine gleiche procentiſche Zuſammenſetzung, wenn ſchon, wenigſtens zum Theil, ein verſchiedenes Aequivalent beſitzen. Dieſe Verbindungen ſind: 1) die Cyanſäure (CyO + HO), 2) die Knallſäure (2 CyO + 2 HO), 3) die Cyanurſäure (3 CyO + 3 HO), 4) die Cyanilſäure (ebenfalls 3 CyO + 3 HO) und 5) das Cyamelid oder die unlösliche Cyanurſäure (C^2 N HO^2).

Dieſe Verbindungen ſind alle ſehr wenig beſtändig. Das Cyanſäurehydrat, eine farbloſe, auf die Haut höchſt energiſch wirkende Flüſſigkeit, beſteht nur bei einer Temperatur unter dem Gefrierpunkt; über demſelben ſiedet die Flüſſigkeit und verwandelt ſich unter heftiger Exploſion in das weiße, amorphe und indifferente Cyamelid, das durch Deſtillation wieder in Cyanurſäurehydrat übergeht. Von den cyanſauren Salzen führen wir das cyanſaure Ammoniumoxyd an, das dadurch äußerſt merkwürdig iſt, daß die Löſung deſſelben ſich beim Erwärmen in Harnſtoff umſetzt:

$$\underbrace{NH^4\,O + C^2\,NO}_{\text{Cyanſaures Ammoniumoxyd.}} = \underbrace{C^2\,H^4\,N^2\,O^2}_{\text{Harnſtoff.}}$$

Beide beſitzen zwar genau dieſelbe Zuſammenſetzung, ſind aber doch beſtimmt von einander verſchieden. In der Auflöſung des erſteren vermag man durch Oxalſäure keinen Harnſtoff nachzuweiſen, während nach dem Erwärmen darin weder Cyanſäure noch Ammoniak enthalten iſt. Dies Verhalten wird dadurch noch bedeutſam, daß es das erſte Beiſpiel der künſtlichen Nachbildung einer durch die Lebensthätigkeit im thieriſchen Organismus erzeugten Verbindung auf chemiſchem Wege und zwar aus rein anorganiſchen Stoffen iſt. Wir können nämlich Cyan darſtellen, wenn wir Stickſtoff über ein glühendes Gemenge von Kohle und kohlenſaurem Kali leiten.

Die Knallſäure oxydirt nur in ihren Verbindungen mit Baſen, den bekannten Knallſalzen oder Fulminaten, die, wenn ſie ſelbſt im feuchten Zuſtande mit harten Körpern berührt werden, ſich unter der heftigſten Exploſion zerſetzen. Die wichtigſten dieſer gefährlichen Salze ſind das knallſaure Silber- und Queckſilberoxyd. Löſt man 1 Th. Silber oder 1,6 Th. Queckſilber in 20 Th. Salpeterſäure von 1,36 ſpecif. Gewicht und miſcht man dieſe Löſung mit 27 Th. Alkohol, ſo tritt eine heftige Reaction ein, nach deren Ende ſich die knallſauren Salze kryſtalliniſch ausſcheiden. Durch folgendes Schema läßt ſich die Bildung dieſer Verbindungen anſchaulich machen:

1) $AgO + 2\,NO^5 + \underbrace{4\,C^4\,H^6\,O^2}_{\text{Alkohol}} = AgO + 2\,NO^3 + \underbrace{C^4\,H^4\,O^2}_{\text{Aldehyd}} + \underbrace{2\,C^2\,O^3}_{\text{Oxalſäure}} + 8\,H + \underbrace{2\,C^4\,H^6\,O^2}_{\text{Alkohol.}}$

2) $AgO + 2\,NO^3 + C^4\,H^6\,O^2 = \underbrace{AgO + C^4\,N^2\,O^2}_{\text{Knallſaures Silberoxyd.}} + 6\,HO.$

Die Cyanurſäure iſt eine feſte, weiße Maſſe, die zurückbleibt, wenn man Harnſtoff vorſichtig erhitzt, ſo lange noch Ammoniak entweicht:

$$3\,C^2\,H^4\,N^2\,O^2 = 3\,N\,H^3 + C^6\,N^3\,O^3 + 3\,HO.$$

Harnſtoff — Cyanurſäure.

Durch Deſtillation wird ſie eben ſo wie die Cyanilſäure umgewandelt; durch Kochen mit Säuren zerfällt ſie in Kohlenſäure und Ammoniak, während die Cyanilſäure durch Behandeln mit Schwefelſäure in Cyanurſäure übergeht.

Mit dem Waſſerſtoff kennen wir eine Verbindung des Cyans: die äußerſt giftige Blauſäure, Cyanwaſſerſtoffſäure, Hydrocyanſäure, Acidum borussicum, zooticum (Cy + H), auch Formonytril genannt. Nach Höfer *) war dies gefährliche Gift, durch Deſtillation aus Pfirſichblättern bereitet, bereits den ägyptiſchen Prieſtern, den älteſten Pflegern der Chemie bekannt. Dieſer vernichtende Trank war die Strafe für die Eingeweihten, welche die Geheimniſſe der Wiſſenſchaft ausgeplaudert hatten und für die Frauen, welche ſich des Ehebruches ſchuldig gemacht hatten. Entdeckt wurde die Blauſäure 1782 durch Scheele **), genauer ſtudirt durch Berthollet, Proust ***) und Ittner ****) und im reinen Zuſtande erſt 1811 durch Gay-Luſſac *****) dargeſtellt.

Die Blauſäure kommt in der Natur fertig gebildet vor, jedoch nur in kleiner Menge und zwar in den waſſerreichen Theilen einiger Drupaceen. Die äußerſt giftigen Eigenſchaften des friſchen Stärkmehles der Jatropha manihot ſchreibt Henry gleichfalls einem Gehalte an Blauſäure zu, die beim Erhitzen zerſtört wird. In reichlicher Menge erzeugt ſich die Blauſäure bei der Digeſtion gewiſſer Theile der Drupaceen, z. B. der zerſtoßenen Samen, in Waſſer aus dem darin enthaltenen Amygdalin. Am bedeutendſten iſt der Gehalt deſſelben in den bittern Mandeln; weiter kommt es nur in den Kernen der Aprikoſen, Pfirſiche, Kirſchen und Zwetſchen, ſo wie auch in den Lorbeerweiden- und Pfirſichblättern, ſo wie in den Blüthen der letzteren vor. Alle Waſſer, die von dieſen Pflanzentheilen durch Deſtillation erhalten worden ſind, enthalten eine gewiſſe Menge Blauſäure; eben ſo auch gewiſſe Liqueure, wie z. B. Perſico und Kirſchwaſſer, die auf ähnliche Art fabricirt werden. Außerdem tritt die Blauſäure noch als Product bei mannichfachen Zerſetzungsproceſſen organiſcher Verbindungen auf; ſo bei der Einwirkung verſchiedener Oxydationsſtufen des Stickſtoffs auf Kohlenhydrate oder ätheriſche Oele, bei der trockenen Deſtillation vieler ſtickſtoffhaltiger organiſcher Subſtanzen, bei der Deſtillation von Protein- und Leimſubſtanzen mit chromſaurem Kali und Schwefelſäure, bei der Zerſetzung des ameiſenſauren Ammoniaks in der Rothglühhitze

$$(C^2\,HO^3, NH^7\,O = C^2\,NH + 4\,HO),$$

Ameiſenſaures Ammoniak — Blauſäure

der wäſſerigen Löſung des Cyans, der knallſauren Salze ꝛc.

*) Histoire de la Chimie. T. I. p. 226.
**) Opuscula. T. II. p. 148.
***) Ann. de Chim. T. LX. p. 185 u. 225.
****) Beiträge zur Geſchichte der Blauſäure 1809.
*****) Ann. de Chim. T. LXXVII. p. 128 u. T. XCV. p. 136.

Im reinsten Zustande erhält man die Blausäure, wenn man getrocknetes Schwefelwasserstoffgas über Cyanquecksilber leitet ($HgCy + SH = HgS + CyH$) oder indem man die genannte Cyanverbindung mit concentrirter Chlorwasserstoffsäure übergießt und die Dämpfe der entweichenden Blausäure über Marmor und Chlorcalcium leitet ($HgCy + ClH = HgCl + CyH$) oder auch, indem man ameisensaures Ammoniak bis auf 200° erhitzt. Bei der Darstellung der wasserfreien Blausäure hat man die größte Vorsicht anzuwenden, da sie unstreitig unter allen Giften das am schnellsten wirkende ist. Schon das unvorsichtige Oeffnen einer Flasche, die concentrirte Blausäure enthält, verursacht Kopfschmerz, starkes Zusammenziehen der Brust, Schwindel und große Uebelkeit; der Dampf der wasserfreien Blausäure tödtet auf der Stelle.

Die wasserfreie Blausäure ist eine wasserhelle Flüssigkeit, welche den Geschmack und Geruch der bitteren Mandeln besitzt, bei — 15° in kleinen Nadeln erstarrt und bei + 26°,5 siedet. Sie verdunstet so schnell, daß in Folge der hierbei entstehenden Kälte ein Theil erstarrt. Specif. Gewicht = 0,69 bei + 17°. Angezündet verbrennt die Blausäure mit blauer Flamme zu Kohlensäure und Wasser, während der Stickstoff frei entweicht. Die Blausäure darf, ähnlich wie die Kohlensäure Lackmuspapier nur schwach und vorübergehend röthen, das Gegentheil zeigt die Anwesenheit starker Säuren an, durch welche die Blausäure bei Gegenwart von Wasser sehr bald in Ameisensäure und Ammoniak umgesetzt wird ($C^2NH + 3HO = C^2HO^3, NH^2$). Mit Wasser, Weingeist und Aether mischt sich die Blausäure in allen Verhältnissen, jedoch sind diese Lösungen besonders am Lichte sehr wenig haltbar.

Die wasserhaltige Blausäure dient als Heilmittel: im Allgemeinen stellt man sie dar durch Zersetzen eines Cyanmetalles durch eine Säure. Begreiflicherweise kann sie demnach auf die verschiedenste Art dargestellt werden. Am gewöhnlichsten wendet man das gelbe Blutlaugensalz und zwar auf 2 At. desselben 6 At. Schwefelsäure und die nöthige Menge Wasser an. 100 Th. Blutlaugensalz liefern in der Regel 17 bis 18 Th. Blausäure, bei deren Darstellung besonders auf die Abkühlung der Vorlage Acht gegeben werden muß. Die officinelle Blausäure ist also nur eine Lösung der Blausäure in Wasser, zeigt also in ihren Eigenschaften sich übereinstimmend mit dieser. Um der Zersetzung vorzubeugen oder sie wenigstens zu verzögern, hat man einen sehr geringen Zusatz von Ameisensäure vorgeschlagen; durch Alkalien wird die Zersetzung beschleunigt.

Bei der energischen Wirkung von Blausäure ist es von Wichtigkeit den Gehalt der medicinischen Blausäure, so wie des Kirschlorbeer- und Bittermandelwassers stets genau zu bestimmen. Man bedient sich hierbei am besten der von Liebig angegebenen Methode *), die darauf beruht, daß ein At. Cyankalium mit einem At. Cyansilber eine lösliche Verbindung eingeht, welche durch überschüssiges Kali nicht zersetzt wird. Man versetzt die zu prüfende Flüssigkeit mit Aetzkali bis zur stark alkalischen Reaction und dann mit einer titrirten Silberlösung bis zur beginnenden, bleibenden Trübung. Der Gehalt an Blausäure läßt sich dann leicht berechnen, da 1 At. des verbrauchten Silbers in der verwendeten Lösung genau 2 At. Blausäure entspricht. Die blausäurehaltigen destillirten

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXVI. S. 102.

Wäſſer ſind ſtets durch Oeltröpfchen getrübt; man muß ſie daher erſt durch Verdünnen mit dem 3 bis 4fachen Volumen Waſſer klar machen, um die Grenze der Reaction ſcharf wahrnehmen zu können. Man kann auch die Beſtimmung auf folgende Weiſe ausführen. Man verſetze die Flüſſigkeit mit einem Gemiſch von Ammoniak und ſalpeterſaurem Silberoxyd und füge dann behutſam Salpeterſäure hinzu, bis die Flüſſigkeit kaum ſauer reagirt. Der Niederſchlag wird auf einem bei 100° C. getrockneten und gewogenen Filter geſammelt, bei der angegebenen Temperatur getrocknet und gewogen. 15 Th. Cyanſilber entſprechen 3 Th. waſſerfreier Blauſäure. Einfacher iſt es das Cyanſilber bei Luftzutritt in einem Porzellantiegel zu glühen und den Blauſäuregehalt aus dem metalliſchen Silber zu berechnen. Hier entſprechen 12 Th. Silber 3 Th. der waſſerfreien Blauſäure.

Die gewöhnlichſten Reagentien auf Blauſäure oder lösliche Cyanverbindungen ſind ſalpeterſaures Silberoxyd und ſchwefelſaure Eiſenoxyd-Oxydullöſung. Erſteres bringt einen weißen Niederſchlag von Cyanſilber hervor, der ſich in Ammoniak nur ſchwierig löſt und in Salpeterſäure unlöslich iſt. Bei der Anwendung des Eiſenvitriols muß ſtets Alkali zugegen ſein, alſo erforderlichen Falls hinzugeſetzt werden. Es entſteht dann ein Niederſchlag von Berlinerblau, der aber, wenn ein Ueberſchuß von Alkali vorhanden iſt, durch das gleichzeitig gefällte Eiſenoxydoxydulhydrat verdeckt wird. Um die Reaction deutlich hervortreten zu laſſen, entfernt man letzteres durch Zuſatz von Salzſäure. Eben ſo wie beim Eiſenvitriol hat man bei dem Zuſatz von ſchwefelſaurem Kupferoxyd zu verfahren. Es wird hier weißes Kupfercyanür gefällt. Nach Laſſaigne ſoll man dadurch noch $^1/_{20000}$ Blauſäure nachweiſen können. Nur bei dem Cyanqueckſilber ſind die angegebenen Reagentien nicht anzuwenden. Man zerlegt daſſelbe entweder durch Schwefelwaſſerſtoffgas oder durch Salzſäure und metalliſches Eiſen. Dadurch wird das Queckſilber abgeſchieden und in der Löſung entdeckt man nun leicht die Cyanwaſſerſtoffſäure. Eine überaus empfindliche Reaction iſt folgende: man ſetzt zu der zu prüfenden Flüſſigkeit 1 oder 2 Tropfen gelben Schwefelammoniums und eine Spur von Ammoniak und erwärmt das Ganze in einem Uhrgläschen, bis Farbloſigkeit eingetreten iſt. Dadurch hat man das Cyan in Schwefelcyanammonium (Rhodanammonium) umgewandelt und dieſes giebt, ſelbſt in den geringſten Spuren, bei Zuſatz von Eiſenchlorid, eine intenſiv blutrothe Färbung. —

Handelt es ſich darum, in Vergiftungsfällen die Blauſäure nachzuweiſen, ſo deſtillirt man z. B. den Mageninhalt mit Waſſer. In dem Deſtillat läßt ſich nun leicht auf die angegebenen Weiſen die Blauſäure entdecken.

Als Heilmittel bei Vergiftungen durch Blauſäure empfiehlt man allgemein das Einathmen von Ammoniak, Chlorwaſſer und Eiſenoxyduloxydhydrat. Es iſt hierbei aber von großer Wichtigkeit, daß dieſe Mittel augenblicklich angewendet werden. Von ganz beſonderem Erfolge ſollen ſich nach Herbſt kalte Begießungen erweiſen. Nach ſeinen Verſuchen können die Wirkungen der Blauſäure, ſelbſt wenn ſie in größerer als tödtlicher Doſis in den Körper gebracht iſt, binnen kurzer Zeit durch kalte Begießungen des Kopfes, des Rückens und ſelbſt des ganzen Körpers mit Erfolg bekämpft werden.

Mit dem Chlor geht das Cyan drei merkwürdige, polymere Verbindungen ein: 1) das gasförmige Chlorcyan (Cy Cl), 2) das flüſſige Chlorcyan (2 Cy + 2 Cl) und 3) das feſte Chlorcyan (3 Cy + 3 Cl). — Das Jodcyan (Cy J) kryſtalliſirt in langen weißen Nadeln und das Bromcyan (Cy Br) in farbloſen Nadeln oder

Digitized by Google

Würfeln. — Mit dem Schwefel geht das Cyan nur Verbindungen ein, die auch als eigenthümliche Radicale betrachtet werden. Es ſind dies das Rhodan, Xanthan, Rubean und Flavean. Nimmt man in ihnen ein gemeinſames Radikal, das Schwefelcyan (CyS oder Csy an, ſo läßt ſich ihre Zuſammenſetzung leichter überſehen. Hiernach iſt Rhodan *) $C^2 N S^2 = Csy + S$,

Xanthan $C^2 N S^3 = Csy + 2 S$,

Rubean $C^2 H N S^2 = Csy + S H$ und

Flavean $C^4 H^2 N^2 S^3 = 2 Csy + S H + H$.

Bei den Verbindungen des Cyans mit den Metallen unterſcheidet man die Cyanüre und die Cyanide. Die Cyanmetalle haben die Eigenthümlichkeit, ſich unter einander zu Doppelcyanüren zu verbinden. Berzelius betrachtet dieſe Verbindungen als wirkliche Salze, Gay-Luſſac und Liebig aber als Verbindungen eigenthümlicher, aus Cyan und Metall beſtehender Radikale.

Durch Playfair iſt 1849 eine neue Klaſſe von Cyanverbindungen entdeckt, die er nicht ganz geeignet Nitropruſſide **) nennt. Läßt man auf das gelbe Blutlaugenſalz Salpeterſäure einwirken, ſo entweicht Cyan, Blauſäure, Stickſtoff und Kohlenſäure, während die Säuren der Nitropruſſide und Oramis entſtehen. Sättigt man dann die Flüſſigkeit mit kohlenſaurem Kali oder Natron, ſo erhält man Nitropruſſid-Kalium oder Natrium in prachtvoll rubinrothen Kryſtallen. Dieſe Farbe zeigen die löslichen Salze überhaupt. Die Cu, Ni, Ca, Fe, Jn und Ag Verbindungen ſind faſt unlöslich. — Das Nitropruſſid-Natrium iſt ein äußerſt empfindliches Reagens auf Schwefel, ſo daß man dadurch den Schwefelgehalt in einem einzigen menſchlichen Haar entſchieden nachweiſen kann.

Mit dem Namen Paracyan ***) belegt man eine Reihe von braunen oder ſchwarzen, N und C enthaltenden Körpern, die nicht flüchtig ſind und auf ſehr verſchiedene Weiſe aus verſchiedenen Cyanverbindungen entſtehen. Je nach ihren verſchiedenen Entſtehungsweiſen beſitzen ſie auch verſchiedene Eigenſchaften. So viel auch dieſe Verbindungen unterſucht worden ſind, ganz im Klaren iſt man über ſie doch noch nicht.

Mit dem Schwefel verbindet ſich der Kohlenſtoff zwar direct, aber erſt in höherer Temperatur. Die einzige Verbindung, die man mit Sicherheit kennt, iſt der Schwefelkohlenſtoff, Kohlenſulfid, auch Schwefelkohlenſtoffſäure, Schwefelalkohol genannt. Chemiſche Formel: $C S^2$. Aequivalent: 475 (O = 100) oder 38 (H = 1). In 100 Th. 15,8 C und 84,2 S. Zuſammenſetzung in Gasform:

---

*) Die Rhodanwaſſerſtoffſäure oder Schwefelblauſäure $C^2 NS^2 + H$ findet ſich im Speichel des Menſchen und des Schafes. Man hat ſie als den Träger des Wuthgiftes anſehen wollen, allein dieſe Säure iſt nur ein ſehr ſchwaches Gift und überdies iſt durchaus nicht nachgewieſen, daß ſie ſich bei der Wuthkrankheit in übermäßiger Menge erzeugt.

**) Phil. Mag. [3] Vol. XXXVI. p. 197, 271 u. 348. Journ. f. prakt. Chem. Bd. L. S. 36. Liebig's Jahresb. 1849. S 300. Journ. de Chim. et de Pharm. [3] T. XVII. p. 441. Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXIV. S. 340. Journ. de Chim. méd. [3] T. VIII. p. 321. Arch d. Pharm. [2] Bd. LXXII. S. 270. Pogg. Ann. Bd. LXXXVII. S. 107 u. 110. Phil. Mag. [4] Vol. VI. p. 11. Journ. f. prakt. Chem. Bd. LIX. S. 502. Vierteljahrsſch. f. prakt. Pharm. Bd. II. S. 239.

***) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XXII. S. 280 u. Bd. L. S. 357. Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 84. Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLI. S. 164 u. Bd. XXXI. S. 226.

½	Vol. Kohlendampf	0,4146
1	Vol. Schwefeldampf	2,2112
		2,6258.

Der Schwefelkohlenſtoff wurde 1796 von Lampadius entdeckt, als er ein Gemenge von Schwefelkies und Kohle der Deſtillation unterwarf. Näher unterſucht wurde dieſe Verbindung jedoch erſt ſpäter von Berthollet, Vauquelin und Thénard. Eine beſſere Methode als die, welche Lampadius für die Darſtellung des Schwefelkohlenſtoffs angegeben hat, iſt die, daß man Schwefeldampf über glühende Holzkohlen leitet. Graphit oder Koks ſind nicht anwendbar, da dieſe ſelbſt nicht in der ſtärkſten Rothglühhitze von Schwefel angegriffen werden. Man bringt ein weites Rohr aus Thon in einem gut ziehenden Ofen und zwar in etwas geneigter Lage an, füllt daſſelbe mit Kohlen und erhitzt nun zum Glühen. Dann trägt man in nicht zu langen Zwiſchenräumen durch die hintere, höher liegende Oeffnung den Schwefel in kleinen Mengen ein, wobei nach dem jedesmaligen Eintragen die Oeffnung wieder mit einem Thonſtöpſel geſchloſſen wird. Der Schwefeldampf zieht über die glühenden Kohlen hin, nimmt Kohlenſtoff in ſich auf und der Schwefelkohlenſtoffdampf zieht durch das Abzugsrohr an der vorderen Seite in die Vorlage, die ſtets gut abgekühlt werden muß. Es iſt gut, noch eine zweite Vorlage anzubringen, in welche die Dämpfe zuerſt eintreten, damit ſich hier der unverändert überdeſtillirte Schwefel anſammle. Die Vorlage, in der ſich der Schwefelkohlenſtoff anſammelt, iſt halb mit Waſſer gefüllt, jedoch darf das Ableitungsrohr nicht bis unter die Oberfläche der in der Vorlage befindlichen Flüſſigkeit reichen. Ueberhaupt muß Alles vermieden werden, wodurch den abziehenden Dämpfen ein Widerſtand entgegengeſetzt wird, um den Verluſt an Ausbeute nicht zu vergrößern.

Schrötter hat *) für die Darſtellung des Schwefelkohlenſtoffs im Großen einen anderen Apparat conſtruirt. Es iſt dies ein 2 Fuß hohes und 10 Zoll weites cylindriſches Gefäß, auf deſſen obere 3 bis 4 Zoll weite Oeffnung ein Helm aufgeſetzt wird. Dicht über dem Fuß des Cylinders iſt ein Rohr angeſetzt, das zum Ofen herausragt und zum Eintragen des Schwefels dient. Auf dieſe Weiſe will Schrötter binnen 12 bis 14 Stunden aus 50 Pfund Schwefel gegen 40 Pfund Schwefelkohlenſtoff erhalten. Der Verluſt iſt darnach ſehr beträchtlich und rührt wohl daher, daß die Dämpfe des Schwefelkohlenſtoffs zum Theil durch die poröſen Wände entweichen. Gmelin **) empfiehlt deshalb einen ähnlichen Apparat aus Gußeiſen.

Die Kohle, welche nach Beendigung der Operation zurückbleibt, iſt ſehr zerfreſſen und enthält Schwefel ſo innig verbunden, daß er durch Hitze nicht entfernt werden kann. Ob dies eine eigene Verbindung von Kohlenſtoff und Schwefel iſt, hat man noch nicht erforſcht. — Das in die Vorlage übergegangene Product enthält ſtets Schwefelwaſſerſtoff und Schwefel, wovon es durch Schütteln mit verdünnten Löſungen von kohlenſaurem Natron und Rectification bei ſehr gelinder Wärme befreit wird. Entwäſſert wird es dann durch Chlorcalcium.

Der Schwefelkohlenſtoff iſt eine farbloſe, ſchwere, leichtbewegliche Flüſſigkeit,

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XXXIX. S. 297.
**) Handbuch d. Chem. 4. Aufl. Bd. I. S. 639.

die einen höchſt unangenehmen Geruch, einen ſcharfen, aromatiſchen Geſchmack und ein ausnehmend ſtarkes Lichtbrechungsvermögen beſitzt. Specif. Gew. 1,272. Wegen ſeiner großen Flüchtigkeit erregt der Schwefelkohlenſtoff ähnlich wie der Aether auf der Haut das Gefühl einer bedeutenden Kälte; im luftleeren Raum ſteigt die Verdunſtungskälte bis auf — 60° C. In der Luft tritt bei 47° das Sieden ein. Wegen der großen Flüchtigkeit bewahrt man den Schwefelkohlenſtoff gewöhnlich unter Waſſer auf, worin er nicht löslich iſt. Wohl aber nimmt das Waſſer den Geruch und Geſchmack des abſorbirten Gaſes an. In Alkohol und Aether iſt er löslich, ſo wie auch miſchbar mit flüchtigen und fetten Oelen. An der Luft entzündet ſich der Schwefelkohlenſtoff nicht allein an einem brennenden Körper, ſondern auch ſchon, wenn er bis auf 360° erhitzt worden iſt und verbrennt mit blauer Flamme zu ſchwefliger Säure und Kohlenſäure. Mit Sauerſtoff gemiſcht verpufft der Dampf ſehr heftig, wenn er durch den elektriſchen Funken entzündet wird. Läßt man einige Tropfen in Sauerſtoff oder Stickſtoffoxydgas verdampfen, ſo verbrennt das angezündete Gemiſch ohne Exploſion, aber mit einer äußerſt intenſiven und ſchnell erlöſchenden Flamme.

Der Schwefelkohlenſtoff iſt ein ausgezeichnetes Löſungsmittel für Schwefel, Phosphor und Jod; nach dem Verdampfen des Löſungsmittels ſcheiden ſich dieſe Körper in ſchönen Kryſtallen aus und zwar der Schwefel in Octaëdern. Außerdem löſt er auch Campher und Harze auf. Man bedient ſich ſeiner in der analytiſchen Chemie zur Trennung des Schwefels (z. B. bei der Analyſe des Schießpulvers) und in der Technik zum Vulkaniſiren des Kautſchuk. Seiner allgemeinen techniſchen Verwendung ſteht zwar der hohe Preis (20 Sgr. pro Pfund) entgegen, doch kann er in Mengen von 100 Pfund und mehr ungleich billiger aus chemiſchen Fabriken bezogen werden. Der Schwefelkohlenſtoff dient auch als Arzeneimittel und in der neueſten Zeit gebraucht man ihn gleichfalls ſtatt des Aethers oder Chloroforms zum Betäuben bei ſchmerzhaften Operationen.

In ſeiner Zuſammenſetzung hat der Schwefelkohlenſtoff große Aehnlichkeit mit der Kohlenſäure, nur daß hier die 2 At. Sauerſtoff durch 2 At. Schwefel erſetzt ſind. Gegen Schwefelbaſen (Schwefelkalium ꝛc.) ſpielt derſelbe die Rolle einer Säure und bildet mit dieſen eine Reihe von Salzen (Kohlenſulfidſalze, Sulfocarbonate, Schwefelkohlenſtoff-Schwefelmetalle), die wiederum mit den kohlenſauren Salzen in der chemiſchen Zuſammenſetzung große Aehnlichkeit haben, indem der Sauerſtoff dieſer in jenen durch Schwefel vertreten wird. — Mit Schwefelwaſſerſtoff bildet der Schwefelkohlenſtoff eine eigenthümliche Säure: die Kohlenſchwefelwaſſerſtoffſäure: $CS^2 + SH$ oder CS^3H. Sie hat jedoch nur eine geringe Beſtändigkeit.

Bei der Darſtellung des Phosphors verbindet ſich ſtets ein Theil deſſelben mit Kohle, durch welche die Reduction der Phosphorſäure bewirkt wird. Preßt man den geſchmolzenen Phosphor unter Waſſer durch Leder, ſo bleibt der Phosphorkohlenſtoff zurück, der durch Deſtillation bei gelinder Wärme von dem überſchüſſigen Phosphor befreit werden kann.

Obgleich ſich der Kohlenſtoff direct durchaus nicht mit dem Chlor verbindet, kann man doch durch Einwirkung von Chlor auf verſchiedene Kohlenwaſſerſtoffe oder auf Schwefelkohlenſtoffe ſolche Verbindungen erzeugen. Bei erſteren wird der Waſſerſtoff allmälig in Chlorwaſſerſtoffſäure verwandelt und durch gleiche Aequivalente Chlor erſetzt. Die einfacheren Verbindungen ſind:

das Kohlenchlorür $C^2\,Cl$, dem wir keine Sauerstoffverbindung des Kohlenstoffs an die Seite setzen können,
- Kohlenchlorid $C\,Cl$, dem Kohlenoxyd entsprechend,
- Kohlensuperchlorür $C^2\,Cl^3$, der Oxalsäure entsprechend und
- Kohlensuperchlorid $C\,Cl^2$, der Kohlensäure entsprechend.

Von diesen wird das Kohlensuperchlorür bisweilen als Arzneimittel — auch gegen die Cholera — angewendet. Es entsteht durch Einwirkung von Chlor auf ölbildendes Gas bei Gegenwart von Wasser. Es ist ein weißer, krystallinischer, fast geschmackloser Körper, der einen campherartigen Geruch besitzt. — Verbindungen des Kohlenstoffs mit Brom und Jod sind nicht bekannt.

Zeigt auch der Kohlenstoff geringe Neigung sich mit Metallen zu verbinden, so kennen wir doch eine große Menge von Kohlenmetallen, da namentlich die Kohle häufig als Reductionsmittel bei der Darstellung von Metallen verwendet wird. Man kann dergleichen Verbindungen aber auch direct durch Zusammenschmelzen der Kohle mit Metallen erhalten, auch durch Zersetzung solcher Metallsalze, deren Säure eine organische ist, oder der Cyanmetalle durch Glühen. In der Natur kommen Kohlenmetalle nur äußerst selten vor; man würde sagen können nie, wenn man nicht zu Canaan in Connecticut gediegen Eisen gefunden hätte, in welchem sich deutlich ausgeschiedener Graphit vorfand *). Dies ist aber auch der einzige Fund dieser Art, der überhaupt gemacht worden ist. Wie sehr selbst geringe Beimengungen von Kohlenstoff die Eigenschaften mancher Metalle verändern, zeigt uns am deutlichsten das Eisen, das überhaupt unter allen Metallen, mit Ausnahme des Mangans, die größte Neigung besitzt, sich mit Kohlenstoff zu verbinden, in seinen verschiedenen Modificationen als Roheisen, Stabeisen und Stahl. Auch beim Kupfer werden einige Eigenschaften selbst bei einem Gehalte von nur 0,2 Proc. Kohlenstoff verändert. Nickel wird dadurch spröde und messinggelb; besonders aber Palladium und Platin. W. B.

Kohlenwasserstoffgas, s. Kohlenstoff.

Koluren (v. dem griech. *κόλουρος*, stutzschwänzig, abgestumpft, von *κόλος*, verstümmelt und *οὐρά*, Schwanz) heißen zwei größte Kreise der Himmelskugel, die sich in den Polen kreuzen, also auf dem Aequator senkrecht stehen, und von denen der eine, der Kolur der Nachtgleichen, durch die beiden Nachtgleichenpunkte, $0^o\,\Upsilon$ und $0^o\,\Omega$, der andere, der Kolur der Sonnenwenden, durch die beiden Sonnenwendepunkte, $0^o\,\mathfrak{S}$ und $0^o\,\mathfrak{V}$, geht. Diese beiden Kreise dienen zur Unterscheidung der vier Jahreszeiten: Frühling, Sommer, Herbst und Winter. Nach Kepler **) sollen die Koluren ihren Namen von dem Umstande erhalten haben, daß wir niemals ihr dem unteren Pole zugekehrtes Ende wahrnehmen können. H. E.

Kometen (v. d. griech. *κόμη*, Haar), Haarsterne, Schwanzsterne, Schweifsterne sind diejenigen Sterne, welche durch eine nebelige Umhüllung, gewöhnlich auch durch einen von der Sonne abgekehrten feuerigen Schweif sich von den übrigen Sternen unterscheiden. Sie bewegen sich unähnlich den Planeten in

*) Sillim. amer. Journ. Vol. XII. p. 154.
**) Epitome. T. II. N. IX. X.

allen möglichen Richtungen und können eben so gut in den polaren, als in den äquatorealen oder zodiakalen Gegenden des Himmels erscheinen.

Durch die Ungewöhnlichkeit ihrer Erscheinung und durch den imposanten Anblick, welchen sie beim Näherkommen darbieten, sind sie beängstigend für den Unkundigen, und mußten daher in Zeiten, in denen man sie für Meteore hielt, weil man keine Ahnung hatte, daß auch sie regelmäßige Bahnen beschrieben, alle also unerwartet erschienen, und wo man noch jede ungewöhnliche schreckhafte Erscheinung am Himmel für drohende Zeichen der zürnenden Gottheit hielt, der Gegenstand des Aberglaubens sein, welcher aus ihnen Pest, Krieg, Ueberschwemmungen und dergleichen weissagte *).

Die Anzahl der beobachteten Kometen von Christi Geburt bis Mitte des neunzehnten Jahrhunderts, wenn man die in den Annalen der verschiedenen chinesischen Dynastien **) erwähnten hinzurechnet, beläuft sich auf mehr als 600; jedoch dürfte die wahre Anzahl nicht unter 3000 betragen, da seit dem Gebrauche des Fernrohrs eine weit größere Menge wahrgenommen worden ist. In den Jahren 1819, 1825 und 1840 sind allein je vier, 1826 fünf und 1846 sogar acht Kometen beobachtet und berechnet worden.

Wir geben folgende Uebersicht:

Jahrhundert	Kometen, beobachtet in Europa u. China	Jahrhundert	Kometen, beobachtet in Europa u. China
1.	22	11.	36
2.	23	12.	26
3.	44	13.	26
4.	27	14.	29
5.	16	15.	27
6.	25	16.	31
7.	22	17.	25
8.	16	18.	64
9.	42	19. (erste Hälfte)	80
10.	26	Im Ganzen	607

Die Kometen sind in der Regel nur 2 bis 3 Monate, höchstens 6 bis 7 Monate dem unbewaffneten Auge sichtbar, durch Fernröhre hat man sie jedoch bisweilen über ein Jahr lang beobachtet. So ist z. B. der berühmte Komet von 1811 310 Tage lang gesehen worden, der von 1825 358 Tage, Halley's Komet

*) Ludwig der Fromme wurde durch das Erscheinen eines Kometen (837) in Schrecken gesetzt und befahl die Erbauung von Kirchen und Klöstern. — Der 1456 erscheinende (Halley'sche) Komet setzte den Papst Calixt III. in die größte Furcht; in allen Kirchen veranlaßte er öffentliche Gebete, und Tag und Nacht wurden die Glocken geläutet. Von daher soll sich der in der katholischen Christenheit allgemeine Gebrauch schreiben, die Glocken um die Mittagszeit zu läuten (?) — Carl V. soll eben so durch einen Kometen zu dem Entschlusse gebracht worden sein, die kaiserliche Krone seinem Sohne Ferdinand zu übergeben.

**) Biot, Catalogue des comètes observées en Chine depuis l'an 1280 — 1640 de notre ère.

1835 286 T., 1844 (Mauvais Komet) 246 T., 1847 (Colla's Komet) 240 T., 1847 (Mauvais II.) 285 Tage. Sie nähern ſich im Laufe dieſer Zeit gewöhnlich den Sonnenſtrahlen ſo ſehr, daß ſie am Himmel verſchwinden, mit der Sonne zugleich am Himmel ſtehen, aber zuweilen mit bewaffnetem Auge am Tage wahrgenommen werden können.

Die ſcheinbare Bewegung der Kometen unter den Fixſternen erſcheint ſehr unregelmäßig; ſie haben mit den übrigen Sternen nur die tägliche ſcheinbare (durch die Umwälzung der Erde verurſachte) Bewegung von Oſten nach Weſten gemein. Auf den Lauf der Kometen während ihrer Sichtbarkeit hat nicht nur die Entfernung derſelben von der Erde, ſondern auch die Richtung ihres wahren Laufs, bezogen auf die Bewegung der Erde, Einfluß. Im Jahre 1729 beſchrieb ein Komet in 6 Monaten nur einen Bogen von 15° am Himmel, während ein anderer im Jahre 1769 240° in Länge durchlief. Unter ganz beſonders günſtigen Umſtänden könnte ein Komet in einer einzigen Stunde 140° und in einem Tage 178° am Himmel beſchreiben. Die Bewegung deſſelben müßte der der Erde entgegengeſetzt ſein; er ſelbſt müßte in Oppoſition mit der Sonne und gleichzeitig im Perihelium ſtehen, ſich in der Ebene der Ekliptik bewegen und der Erde ſo nahe kommen wie der Mond.

Wenn ein Komet nur mit bewaffnetem Auge zu ſehen iſt, ſo erſcheint er meiſtens nur als eine rundliche, mehr oder weniger gegen das Innere zu verdichtete Maſſe. Iſt derſelbe dem bloßen Auge ſichtbar, ſo geht von dieſer Maſſe, dem ſogenannten Kometen*kopfe*, meiſtens in einer der Sonne entgegengeſetzten Richtung ein *Schweif* von dünner Nebelmaſſe aus. Die Mitte des Kopfes iſt bisweilen durch einen ſternähnlichen Lichtpunkt, *Kern*, bezeichnet; bisweilen auch durch ein ſchärfer begrenztes planetenähnliches Scheibchen; meiſtens jedoch iſt gegen die Mitte hin nur ein ſtärkerer Grad der Verdichtung bemerkbar, ſo daß das Ganze im Fernrohre wie verwaſchen ausſieht. Namentlich iſt das Letztere bei Beobachtungen durch ſtark vergrößernde Fernröhre der Fall. Mehrere Aſtronomen erwähnen auch bei Beobachtungen großer Kometen eines *Mantels*, nämlich eines lichten Randes, welcher den Kometenkopf auf der der Sonne zugewendeten Seite ganz umgiebt und die anderen Seiten ſo umſchließt, daß ſeine Ausläufer den Anfang des Schweifes bilden. Mit *Haar* bezeichnet man den dünnen Nebel, welcher den ſtark verdichteten ſtern- oder planetenartigen Kern umgiebt.

Einige Kometen ſind ſo lichtſtark geweſen, daß man ſie am hellen Tage ſehen konnte, daß ſie des Nachts die Sterne erbleichen machten und wie der Mond einen Schatten warfen. Zu den am Tage geſehenen Kometen gehörten z. B. die Kometen von 1402, 1532, 1744, 1843 und 1847. Bei den meiſten iſt der Kopf weiß, oder er hat ein bleiches, waſſerhelles Anſehen; bisweilen jedoch zeigt der innerſte Theil eine mattrothe oder gelbliche Färbung, ſeltener eine grünliche. Ein planetariſcher Kern kommt ſelten vor; von einer ſoliden Maſſe deſſelben kann wohl nie die Rede ſein. Den Kern des großen Kometen von 1680 vergleichen einige Beobachter mit einer feurigen Kohle, roth und glühend; daſſelbe gilt von dem Halley-ſchen Kometen im Jahre 1835. Der Komet von 1652 war bleich und unſcheinbar; der von 1744 von blendender Helligkeit. Der Kopf des Kometen von 1618 ſoll aus *mehreren* hellen Kernen beſtanden haben, eben ſo wird dies von den Kometen der Jahre 1661 und 1665 angegeben.

Das Auffallendſte an den Kometen iſt der *Schweif*. Im Allgemeinen iſt

derſelbe von der Sonne abgewendet *), doch liegt er nicht immer genau in der Linie, welche von der Sonne durch den Kopf des Kometen gerichtet iſt. Der Komet von 1577 zeigte z. B. eine Abweichung von 21°, der von 1680 eine ſolche von 5°. Manche Kometen bieten uns gar nicht die Erſcheinung eines Schweifes dar, ſondern ihr Nebel iſt nach allen Seiten ziemlich gleich ausgebreitet, und ſie gleichen einem runden Nebelfleck, oder zeigen ſich etwas elliptiſch, in der Mitte am meiſten verdichtet. Andere Kometen haben mehr als einen Schweif: z. B. der im Jahre 1851 zeigte noch einen kleineren der Sonne zugewendeten; der vom Januar 1824 war mit zwei Schweifen verſehen, die einen zwiſchen 138 und 170 Grad wechſelnden Winkel einſchloſſen; der Schweif des Kometen von 1744 war ſechsfach. Bisweilen iſt der Schweif ſäbelförmig gekrümmt, z. B. bei dem Kometen von 1811 nach außen, bei dem von 1618 nach innen, d. h. gegen die Seite, nach welcher hin der Komet ſich bewegte.

In der Regel nimmt der Schweif an Größe zu, je näher der Komet der Sonne kommt. So war der Schweif des Kometen von 1665 anfangs $2^1/_2$, ſpäter 5 Millionen Meilen lang. Bei weiterer Entfernung des Kometen von der Sonne nimmt dann die Länge des Schweifes wieder ab. So war bald nach der Sonnennähe der Schweif des Kometen von 1811 zwölf Millionen Meilen lang, nach 2 Monaten aber nur noch 5 Millionen Meilen. Die Veränderungen in der Länge des Schweifes bei demſelben Kometen während der Dauer ſeiner Sichtbarkeit haben übrigens, namentlich wenn ſie vorübergehend ſind, ihren Grund höchſt wahrſcheinlich in mehr oder weniger zufälligen Verhältniſſen unſerer Atmoſphäre. Ungleichheiten in der Reinheit der Luft, durch welche wir den Kometen beobachten, werden derartige Veränderungen zur Folge haben. Auch der Mond iſt von Einfluß; denn bei leuchtendem Vollmonde muß das immer mehr an Helligkeit abnehmende Ende des Schweifes an Sichtbarkeit verlieren. Am 9. September 1769 beobachtete man an verſchiedenen Stationen die Länge des Schweifes eines und deſſelben Kometen zu 43°, 55°, 60°, 75°. Die ungeheuere Länge des Schweifes geht aus dieſen Angaben ſchon hervor; es mögen indeſſen noch einige Beiſpiele hier Platz finden: 100° bei einem Kometen vom Jahre 1264; 60° bei dem Halley'ſchen von 1456; 104° bei dem vom Winter 1618; 90° im Jahre 1680; 60° im J. 1689; 45° bis 65° im J. 1843.

Ein auffallendes Phänomen hat man an manchen großen Kometenſchweifen wahrgenommen, nämlich ſogenannte Strahlenſchüſſe, d. h. ſcheinbare momentane Verlängerungen und Ausbreitungen des Schweifes. Unwillkürlich wird man hierbei an die ähnlichen Bewegungen bei den Nordlichtern erinnert. Es beginnen dieſe Strahlenſchüſſe an dem Kopfe des Kometen und erſtrecken ſich in wenigen Secunden durch die ganze Länge des Schweifes **). Lange Zeit war man der Meinung, daß hier wirkliche Erzitterungen der kometariſchen Maſſe zu Grunde lägen; Olbers und Brandes haben aber gezeigt, daß das Phänomen, ähnlich dem Funkeln der Sterne, von Ungleichheiten in der Heiterkeit der Luft abhängt. Daß dieſe Strahlenſchüſſe nicht auf einer wirklichen Aenderung im Leuchten des Schweifes beruhen können, ſcheint vorzüglich aus folgenden zwei Gründen zu erhellen. Erſtlich könnte ſchwerlich irgend eine Wirkung durch die Länge des

*) v. Humboldt's Kosmos. Bd. III. S. 363.
**) v. Humboldt's Kosmos. Bd. I. S. 106—112.

Schweifes von 5, ja von 10 Millionen Meilen in wenigen Secunden fortgepflanzt werden, da ſelbſt das Licht 2 Minuten braucht, um 5 Millionen Meilen zu durchlaufen; zweitens wenn auch eine faſt den ganzen Schweif in demſelben Augenblicke treffende Veränderung vorginge, wenn auch in der That jedes Schweiftheilchen plötzlich leuchtender würde, ſo könnte dieſe in demſelben Augenblicke eingetretene Wirkung unſerem Auge ſich doch nicht als ſo gleichzeitig, oder als in wenigen Augenblicken erfolgt, darſtellen. Denn wenn das eine Ende des Kometenſchweifes 5 Millionen Meilen, das andere 10 Millionen Meilen von uns entfernt iſt, ſo wird ein gleichzeitig durch alle Schweiftheilchen verbreitetes Leuchten uns vermöge der von dem näheren Ende ausgehenden Lichtſtrahlen nach 2 Minuten, vermöge der von dem entfernten Ende ausgehenden Lichtſtrahlen nach 4 Minuten ſichtbar werden, und wir ſehen gar nicht ein, wie es möglich wäre, daß jener plötzlich entſtandene Glanz von allen Theilen des Schweifes her unſer Auge gleichzeitig erreichte. Das Phänomen kann demnach kein objectives ſein. Wir werden alſo den Grund, wie bei dem Funkeln der Sterne, darin zu ſuchen haben, daß zu gewiſſen Zeiten feine Dünſte durch die Luft ziehen, die, ohne die Luft ſichtbar zu trüben, ſich uns doch durch eine ungleiche Brechung des Lichts kenntlich machen. Es werden dieſe Dünſte hinreichen, um jene matteſten Theile des Kometenſchweifes bald zu verdecken, bald ſichtbar zu machen, und indem ſie vor der Länge des Schweifes vorbeiziehen, den ſchöner hervorblinkenden Glanz uns als durch die ganze Länge des Schweifes fortlaufend zu zeigen. — An dem großen Kometen im März 1843 wurde das Phänomen neuerdings ganz entſchieden beobachtet, um nur einen beſtimmten Fall anzuführen.

Die wahre Größe der Kometen, der Durchmeſſer des Kernes oder des Haares, desgleichen die Länge des Schweifes, läßt ſich bei den nicht ſcharfen Begrenzungen nicht mit Genauigkeit angeben. Bei dem Biela'ſchen Kometen fand man im J. 1805 den Durchmeſſer des Kernes 15 bis 27 Meilen, bei dem großen Kometen des J. 1811 93 M., bei dem zweiten deſſelben Jahres 570 M., bei dem 1815 von Olbers entdeckten 1150 M. Der 1845 mit unbewaffnetem Auge ſichtbare Komet hatte einen hellen planetenähnlichen Kern von nahe 1700 Meilen. Es muß indeſſen wohl beachtet werden, daß der Kern deſſelben Planeten von ſehr wandelbarer Größe iſt, wie z. B. an dem Halley'ſchen Kometen im Januar 1836 eine gut begrenzte Scheibe von etwa 21000 Meilen in dem Kopfe deſſelben von Maclear beobachtet wurde, während im vorhergehenden Jahre der Kern in ſeinem Durchmeſſer nur von 55 bis 220 Meilen wechſelte.

Eben ſo unſicher iſt es mit dem Haare. 20000 bis 25000 Meilen iſt das häufigſte Maß des Durchmeſſers, ſelten überſchreitet daſſelbe 45000. Bei dem Encke'ſchen Kometen vom J. 1828 hat man aber 67000, bei dem Halley'ſchen vom J. 1836 78000 und bei dem großen Kometen von 1811 ſogar 245000 Meilen gefunden. Am auffallendſten iſt, daß die Durchmeſſer der Kometen bei ihrer Annäherung zur Sonne kleiner werden und bei zunehmender Entfernung wieder wachſen. An dem Encke'ſchen Kometen hat ſich dies in den Jahren 1828 und 1838 entſchieden herausgeſtellt. Bereits Kepler machte dieſe Bemerkung an dem großen Kometen des Jahres 1615.

Ueber die wahre Länge der Schweife haben wir oben bereits einige Angaben beigebracht. Es ſei daher hier nur noch bemerkt, daß dieſelben oft nur 100000 Meilen lang ſind, in anderen Fällen aber 20 bis 30 Millionen Meilen

weit reichen. Der Schweif des großen Kometen von 1843 soll eine Länge von 35 bis 45 Millionen Meilen gehabt haben.

Das Licht, mit welchem die Kometen leuchten, ist höchst wahrscheinlich kein eigenes, sondern erborgtes. Arago*) hat durch sein Polariskop den Beweis geliefert, daß das Licht des großen Kometen von 1819 reflectirtes Licht enthielt, und ein gleiches Resultat erhielt man im J. 1835 an dem Halley'schen Kometen. Ob außer diesem reflectirten Sonnenlichte die Kometen nicht auch eigenes Licht haben, bleibt freilich noch dahingestellt. Ist doch selbst bei den eigentlichen Planeten, z. B. bei der Venus, eine selbstständige Lichtenwickelung sehr wahrscheinlich. Anderer Seits könnte man freilich auch annehmen, daß durch die Einwirkung der Sonne im Inneren der Kometen physische Veränderungen bedingt würden, durch welche ihre Reflectionsfähigkeit zeitweilig erhöht und geschwächt würde, um einige Beobachtungen zu erklären, die mit der Annahme eines blos reflectirten Sonnenlichts unverträglich scheinen. Olbers fand nämlich die Aenderung der Helligkeit des Kometen von 1780 nicht in Uebereinstimmung mit der Annahme, daß derselbe blos mit reflectirtem Lichte leuchte, und Galle's Komet vom J. 1840 zeigte nach Plantamour ähnliche Abweichungen.

Wenn der Kern der Kometen auch nur einigermaßen solid wäre, so müßten sich, ähnlich wie bei dem Monde, an demselben Phasen zeigen. Einige ältere Beobachtungen scheinen dafür zu sprechen; auch die Kometen von 1744, 1769 und 1819 haben eine mehr oder weniger deutliche Sichelform gezeigt. Im Allgemeinen jedoch sind die Kometen von einem so feinen Stoffe, daß man öfter sehr schwache Sterne durch diese 20 bis 25000 Meilen mächtigen Massen hindurch hat wahrnehmen können und zwar meistens ohne die geringste Lichtschwächung für den Stern. In einigen wenigen Fällen behaupten die Beobachter sogar eine Lichtzunahme an dem Sterne gefunden zu haben **). Entscheidend für die Frage, ob der Kern des Kometen ein fester Körper sei, wird die Beobachtung des Vorbeigehens des Kometen vor der Sonne sein. Ist nämlich der Kern ein fester Körper, so wird derselbe während des Vorübergehens vor der Sonne als ein dunkler Fleck auf dieser erscheinen müssen. Man hat bis jetzt jedoch noch nicht Gelegenheit gehabt, ein solches Vorübergehen zu beobachten.

Die Kometen: der zweite von 1819 und der von 1823 sind leider ungesehen vor der Sonne vorbeigegangen. Bessel***) konnte am 29. September 1835 an dem Lichte eines Sternes 10. Größe, der sehr nahe an dem Centrum des Kopfes des Halley'schen Kometen stand, nicht die geringste Ablenkung von der geradlinigen Bewegung wahrnehmen. Es scheint demnach selbst das Centrum des Kopfes keine strahlenbrechende Kraft zu besitzen, und hiernach wird es schwer, den Kometenstoff für eine gasförmige Flüssigkeit zu halten.

Die Atmosphäre der Kometen, die neblige den Kern umgebende Hülle, ist, wie man fast mit Gewißheit behaupten kann, dieselbe Materie wie der Kern, nur im Zustande größerer Verdünntheit. Namentlich an dem Kometen von 1799

---

*) Ann. de Chim. et Phys. T. XIII. p. 108. Biblioth. univers. T. XXXIV. p. 247. v. Humboldt's Kosmos. Bd. I. S. 111. Bd. III. S. 567.

**) Piazzi, Cat. nov. p. 152. 153.

***) Astron. Nachr. 1836. Nr. 301. S. 204—206; vergl. auch Nr. 303. S. 238.

hat man beobachtet, daß ſein Kern zuweilen groß und deutlich, zuweilen klein und trübe erſchien, was man als ein zeitweiliges Uebergehen der Maſſe des Kernes in Atmoſphäre erklären kann. Indeſſen können auch Verdichtungen der Atmoſphäre eine Verundeutlichung des Kernes zur Folge haben, ſo daß die Veränderung der Größe deſſelben nur ſcheinbar iſt. Ueber das Weſen, die innere Natur der Kometen, ſo wie des Stoffes, ſind unſere Kenntniſſe noch ganz unvollkommen. Nach La Place *) wird die Maſſe des Kometen, ſobald derſelbe ſich der Sonne nähert, immer mehr ausgedehnt, wie ja auch die irdiſchen Körper durch die Wärme Ausdehnung erleiden. Der (vielleicht feſte oder tropfbarflüſſige (?)) Kern verwandelt ſich zum Theil (oder ganz, oder auch in Abwechſelungen) in eine luftähnliche (?) dünne Flüſſigkeit, die ſich nun in Folge der Erwärmung ausdehnt. Dieſe Ausdehnung kann bei großer Annäherung an die Sonne ſo groß ſein, daß die äußerſten Grenzen der Hülle und des Schweifes des Kometen völlig verſchwinden, derſelbe alſo z. B. wie der von 1680 anfangs nach dem Heraustreten aus der Sonnennähe kleiner als vor dem Eintreten in dieſelbe erſcheint, obſchon in der That vielmehr eine Zunahme der Ausdehnung ſtattgefunden hat. Bei der Ausdehnung der Atmoſphäre des Kometen findet aber kein Verluſt an Kometenmaſſe, etwa durch Verflüchtigung in den Aether, ſtatt, ſondern es erhält ſich der Zuſammenhalt des Ganzen, wie weit auch die Ausdehnung durch die Wärme gegangen ſein mag. Je weiter ſich hierauf der Komet von der Sonne entfernt, deſto mehr zieht ſich ſeine Maſſe in Folge der Wärmeabnahme wieder zuſammen und die luftförmige Atmoſphäre geht größtentheils in tropfbarflüſſige oder gar feſte Form über. Dabei wird ſich bedeutende Wärme entbinden, und ſo kann ſich vielleicht auf dem Kometen eine mittlere Temperatur erhalten, während ohne dies der Unterſchied zwiſchen Hitze und Kälte in Sonnennähe und Sonnenferne ungeheuer ſein würde. Auch in der Sonnennähe würde ſich die mittlere Temperatur des Kometen wenigſtens ohne allzu große Abweichung erhalten, weil je näher der Sonne, deſto größer die Abdampfung ſein, und bei dieſer eine ſehr bedeutende Quantität Wärme gebunden werden müßte.

In Betreff der Schweifbildung hat man die Annahme einer in dem Kerne oder allgemein in dem dichteren Theile des Kopfes enthaltenen Kraft nothwendig erachtet, welche einen Theil der Nebelhülle nach einer von der Sonne abwärts gehenden Richtung treiben ſoll. Newton **) war wohl der Erſte, welcher dieſe Hypotheſe aufſtellte; ſpäter haben namentlich Olbers ***) und Brandes ****) dieſelbe mehr entwickelt. Bevor die Theile des Kometenſtoffes eine ſolche Entfernung erlangen können, befinden ſie ſich zu beiden Seiten des Kernes, und werden dann von ihm aus in zwei Strömen ausgeſtoßen, die ſich ſchließlich hinter dem Kopfe in einen Strom vereinigen und den Schweif bilden. Dieſe abſtoßende Kraft muß an Intenſität die Schwerkraft weit übertreffen. Im Allgemeinen behält die Axe des Schweifes eine geradlinige Form, mindeſtens durch den größten Theil deſſelben; eine bisweilen allerdings wahrgenommene Krümmung findet nur

*) Expos. du syst. du monde. liv. II. chap. 5. Connoiss. des Tems. 1816. p. 213.
**) Princip. phil. nat. Edit. 3. p. 511.
***) v. Zach, Monat. Correſp. Bd. XXV. S. 1.
****) Aſtron. Zeitſchr. Bd. I. S. 394. Unterhaltungen für Freunde der Phyſ. und Aſtron. Bd. I. Hft. 2; vergl. Gehler's Phyſ. Wörterb. N. Bearb. Bd. V. S. 944.

am äußeren Ende ſtatt, wahrſcheinlich weil die ſchweifbildende Repulſivkraft in dieſer großen Entfernung zu ſchwach wird, um anderen Kräften, in's Beſondere dem Widerſtande des Aethers nicht einigermaßen nachgeben zu müſſen. Das Schwinden des Schweifes, wenn der Komet ſich wieder von der Sonne entfernt, iſt wahrſcheinlich einem mit zunehmender Entfernung von der Sonne allmälig eintretenden Erlöſchen dieſer Kraft zuzuſchreiben.

Bei der theilweiſe ungeheuren Länge des Kometenſchweifes und der oft eintretenden großen Annäherung der Kometen an die Sonne, zumal die Kometenbahnen in allen Richtungen liegen im Gegenſatze zu den Bahnen der Planeten, liegt die Frage nahe, ob nicht die Erde von einem Kometenſchweife getroffen werden, und eben ſo die, ob nicht gar ein Zuſammenſtoß der Erde mit einem Kometen eintreten könnte. Was würde dies für Folgen haben? Es iſt wahrſcheinlich, daß am 26. Juni 1819 die Erde durch den Schweif des damals erſchienenen Kometen gegangen iſt; aber eine beſondere Wirkung hiervon hat man nicht verſpürt. Eben ſo wenig iſt 1823 in einem gleichen Falle eine Wirkung wahrgenommen worden. Nach der Berechnung von La Place iſt der Komet vom Jahre 1770 in den Jahren 1767 und 1779 ſehr nahe an dem Jupiter und ſeinen Monden vorbei gegangen, und es iſt keine merkliche Störung hierdurch beobachtet worden *).

Hieraus iſt man alſo wohl zu der Behauptung berechtigt, daß eine große Annäherung eines Kometen an die Erde dieſer keine Gefahr bringen möchte. Die Aſtronomen wenigſtens würden über ein ſolches Eintreten eine unverholene Freude empfinden. Wie ſteht es aber mit einem Zuſammenſtoße der Erde und eines Kometen? Die Wahrſcheinlichkeit hierfür iſt ſehr gering. Arago findet,

*) Mécan. cél. T. IV. p. 232. — Aus den Beobachtungen des im Jahre 1770 erſchienenen Kometen folgt nämlich, daß derſelbe eine Umlaufszeit von 5½ Jahren habe. Man hat aber dieſen Kometen weder vor noch bisher nach 1770 beobachtet, und man muß daher annehmen, daß entweder das Daſein dieſes Weltkörpers überhaupt nur von kurzer Dauer geweſen ſei, oder daß derſelbe vor und nach 1770 in ſeiner Bahn Störungen erlitten haben müſſe. Daß dies Letztere der Fall ſei, hat La Place nachzuweiſen geſucht. Der Komet erhielt ſeine Bahn von 5½ Jahren durch die Anziehung des Jupiter, dem er 1767 ſehr nahe kam, war 1770 und 1776 in der Nähe der Erde, wurde aber in dem letztern Jahre nicht bemerkt, weil er, nur bei Tage am Himmel ſtehend, von der Sonne überſtrahlt wurde. Im Jahre 1779 begegnete der Komet aufs neue dem Jupiter und wurde nun in ſeiner Bahn ſo von ihm verändert, daß Jahrhunderte bis zu ſeiner Rückkehr vergehen werden. In den genannten Jahren ging dieſer Komet zwiſchen dem Jupiter und ſeinen Monden hindurch, ohne auch nur irgend eine Veränderung in Lauf und Stellung des Planeten und der Monde deſſelben zur Folge zu haben. Dieſes hätte aber ſowohl beim Jupiter der Fall ſein müſſen, als auch im Jahre 1770 bei der Erde, wenn ſeine Maſſe nicht ſehr gering wäre, weil ſich die Anziehung nach der Größe der Maſſe richtet. Er war damals 316664 Meilen von der Erde entfernt und hätte nach La Place, wenn er aus einer Maſſe gleich der der Erde beſtände, eine Veränderung der Jahreslänge von 4 Stunden 10 Minuten hervorbringen müſſen. Nicht allein aber dieſer Komet, ſondern alle ſeit 3000 Jahren in die Nähe der Erde gekommenen Kometen haben zuſammen keine Veränderung von 2 Sec. in der Jahreslänge hervorzubringen vermocht. Denn La Place hat nachgewieſen, daß nicht um 2 Sec. das gegenwärtige Erdjahr von dem vor 3000 Jahren abweiche. Ueberhaupt iſt bei keiner der lange voraus berechneten Stellungen der Himmelskörper auf Störungen durch Kometen Rückſicht genommen, obſchon faſt jedes Jahr ein Komet in die Nähe eines Planeten kommt, und da nun dennoch jene Stellungen ſehr genau zu der voraus beſtimmten Zeit eintreffen, ſo können derartige Störungen auch nicht ſtattfinden, d. h. die Kometen müſſen ſämmtlich eine ſo geringe Maſſe haben, daß ſie nicht eine merkliche Anziehung gegen die Planeten ausüben.

daß für einen einzelnen Kometen, im Durchschnitt genommen, das Gegentheil 250 Millionen Mal wahrscheinlicher ist, so daß bei einer Annahme von 8 Kometen auf jedes Jahr, ein Zusammenstoß nur ein Mal in je 31 Millionen Jahren zu erwarten wäre. Olbers*) weist nach, daß von 439 Millionen Kometen, welche der Sonne näher kommen als die Erde, nur einer nach den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung mit der Erde zusammenstoßen könnte, was bei zwei solchen Kometen auf jedes Jahr gerechnet in 220 Millionen Jahren einen Zusammenstoß ergeben würde. In Bezug auf eine Berührung der Erde durch die Kometenatmosphäre, diese im Mittel zu 6 Erdhalbmessern angenommen, kommt Olbers zu dem Resultate einer Berührung in 8 bis 9 Millionen Jahren. Am nächsten kam der Erde bis jetzt der Komet von 1770, nämlich 311940 Meilen. Nach Olbers schneiden die Kometen von 1684, 1742, 1779 und 1805 die Ebene der Ekliptik an Punkten, die von der Erdbahn selbst nicht weit entfernt liegen, d. h. in einer Entfernung von 185600 bis 298300 Meilen. Von dem Kometen des J. 1680 und dem Biela'schen gilt ein Gleiches. Nun ist es aber eben nicht sehr wahrscheinlich, daß die Erde gerade an dieser Stelle der geringsten Entfernung sich auf ihrer Bahn befinden werde **).

Wir wenden uns jetzt zu der Betrachtung der Kometenbahnen, wobei wir die periodischen Kometen kennen lernen werden, und hierbei wird sich Gelegenheit bieten noch mancher Einzelheiten Erwähnung zu thun, die im Vorstehenden nicht gut eine Stelle finden konnten.

Die — wie bereits oben angegeben ist — sehr unregelmäßig erscheinende Bewegung der Kometen unter den Fixsternen erschwerte in früheren Jahrhunderten die Erkenntniß des wahren Laufs dieser Himmelskörper. Tycho de Brahe beobachtete zuerst mit großer Sorgfalt den Lauf eines Kometen, nämlich den des 1577 erschienenen, und kam zu der Ansicht, daß derselbe einen Kreis beschreibe, eine Ansicht, die ihn leicht zu wichtigen Folgerungen führen konnte, wenn er nicht die Kometen für vergängliche Körper gehalten hätte***). Kepler ****) glaubte die Bahn des Kometen von 1618 auf eine zwischen Sonne und Erde hindurchgehende gerade Linie zurückführen zu können, und betrachtete die Kometen überhaupt als neu entstehende Erzeugungen im Himmelsraume. Hevel *****) bezeichnete die Bahn der Kometen als eine gegen die Sonne gekrümmte Parabel, ohne jedoch die Sonne als in dem Brennpunkte stehend zu bezeichnen, und dieser ist mit Borelli †) und Dörfel, Prediger zu Plauen im Voigtlande ††),

*) v. Zach's monatl. Corresp. Bd. XX. S. 397. Schumacher's Astron. Nachr. Nr. 128.

**) Vergl. Mädler in: Die Kometen von Hind, deutsche Bearb. Leipzig 1854. S. 204 ff.

***) De mundi aetherii recentioribus phaenomenis. Uranienb. 1587, 4. Lib. II.

****) Libelli tres de Cometis astron., phys., astrolog. Aug. Vindelic. 1619.

*****) Cometographia. Gedani 1668. p. 659. 666. 680.

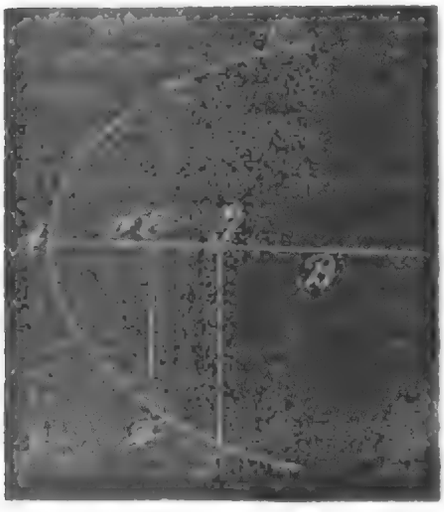
†) Vergl. v. Zach in: Astronomische Zeitschrift. Bd. III. S. 348.

††) Astronomische Betrachtung des großen Kometen, welcher im ausgehenden 1680 und im angehenden 1681. Jahre höchst wunderlich und entsetzlich erschienen, dessen zu Plauen angestellte Observationen nebst etlichen sonderbaren Fragen, sonderlich von Verbesserung der heveliſchen theoria cometarum. Plauen 1681; vergl. auch Kästner in: Schriften der Leipziger Gesellschaft freier Künste. Bd. III.

wohl der Erſte, welcher die Kometen als Weltkörper erkannt hat. Dörfel ſagt ausdrücklich, daß der von ihm beobachtete Komet eine Parabel beſchrieben habe, in deren Brennpunkte die Sonne ſtehe. Seine Berechnungen haben nur den Mangel, daß er das Syſtem Tycho de Brahe's als richtig vorausſetzt. Borelli drückt ſich dahin aus, daß der 1664 erſchienene Komet, wenn er ſich in einer Parabel bewegte, die Erſcheinungen zeigen konnte, welche er wirklich darbot. Da Dörfel Borelli's Ausſpruch nicht gekannt hat, ſo iſt er jedenfalls derjenige, welcher ſich zuerſt am beſtimmteſten ausgedrückt hat, wenn gleich er ſagt: „ſeine Erfindung erſcheine noch unreif.“

Durch die von Newton entdeckten Geſetze der allgemeinen Anziehung iſt Dörfel's Behauptung, daß die Kometen von der Sonne angezogen und in ihren Bahnen erhalten werden, außer Zweifel geſetzt *). Auch für die Kometen gilt — wie für die Planeten, — daß die Attractionskraft (ſ. Art. Anziehung Bd. I. S. 241) in größeren Entfernungen abnimmt, und zwar dem Quadrate der Entfernungen umgekehrt proportional. Hieraus folgt, daß die Bahn jedes von der Sonne abhängigen bewegten Weltkörpers einer der drei Kegelſchnitte: Ellipſe, Parabel oder Hyperbel ſei, und zwar, da von dieſen nur die Ellipſe eine in ſich zurücklaufende Linie iſt, jeder in die Nähe der Sonne (welche allemal im Brennpunkte ſteht) zurückkehrende Weltkörper eine Ellipſe beſchreibe.

Die Parabel iſt eine krumme Linie, wie ſie beiſtehende Figur darſtellt. S iſt der Brennpunkt (focus), A S B die Axe, A C und A D ſind die Arme der Parabel.



Errichtet man in beliebigen Punkten der Axe, z. B. in E und G Perpendikel und verlängert dieſelben bis zu dem Parabelarme, ſo findet ſtets die Proportion ſtatt:

$$EF : GD = AE^2 : AG^2$$

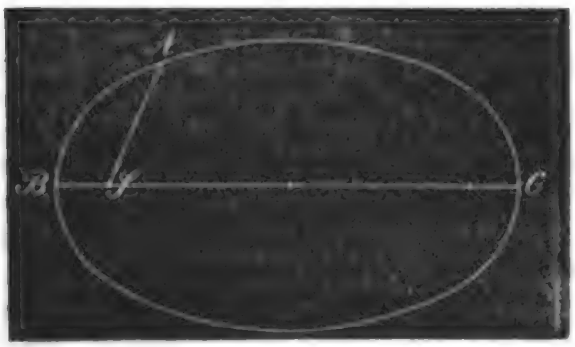
d. h., da A E und A G ꝛc. Abſciſſen und E F, G D ꝛc. Ordinaten genannt werden, die Ordinaten verhalten ſich wie die Quadrate der Abſciſſen. Da hieraus folgt, daß die Arme A C und A D, wie weit man ſie auch fortführen mag, ſich von der Axe A B und von einander immer weiter entfernen, ſo würde, wäre die Bahn eines Kometen eine wirkliche Parabel, derſelbe nur Einmal in aller Zeit in die Nähe der Sonne bei S kommen und dann ins Unendliche fortlaufen, ohne jemals wiederzukehren. Dies iſt aber nicht der Fall; denn genauere Beobachtungen und Berechnungen haben gezeigt, daß die Kometen wenigſtens zum Theil wiederkehren, wenn auch mitunter erſt nach einer längeren Reihe von Jahren. Ihre Bahnen ſind folglich nicht Parabeln, ſondern — wie die Planetenbahnen — Ellipſen, wie umſtehende Fig. I. zeigt; aber dieſe Ellipſen ſind ſo lang gedehnt, und die Kometen erſcheinen uns immer nur in der Nähe des einen Brennpunktes ihrer elliptiſchen Bahn, daß ſie ſo angeſehen werden können, als ob ſie den kleinen uns ſichtbaren Theil ihrer Bahn in einer Parabel durchliefen, und daß wir

*) Newton, princip. lib. III. prop. 41.

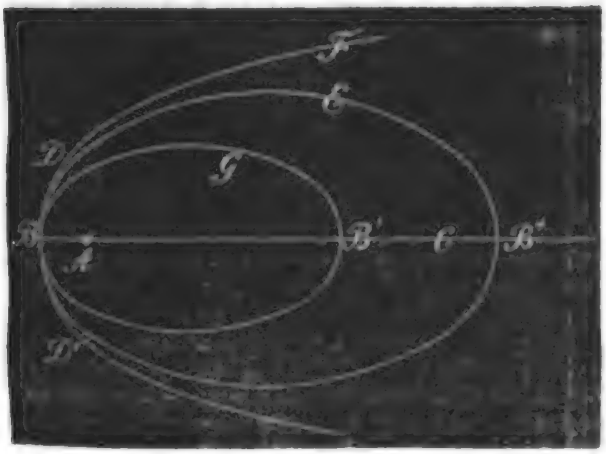
folglich der Berechnung der wahren Bahn der Kometen wenigſtens nahe kommen, wenn wir dieſe Bahn als eine Parabel betrachten, in deren Brennpunkte die Sonne ſteht.

Stellen wir uns vor, daß in der beiſtehenden Fig. II. bei A die Sonne ſich befinde, und daß man einen Kometen auf dem Theile ſeiner Bahn D D' zu beobachten vermöge, während derſelbe auf ſeiner Bahn über D und D' hinaus wegen zu großer Entfernung nicht mehr ſichtbar wäre, ſo iſt klar, daß derſelbe — wenn er eine Bahn um die Sonne beſchreibt — in einer der vielen Ellipſen ſich bewegen müſſe, welche ſo gezogen werden können, daß ihr einer Brennpunkt in A und (von hier an) ihr nächſter Punkt in B fällt. Welche von dieſen Ellipſen die Bahn des Kometen wirklich ſei, würde man ſogleich entſcheiden können, wenn man nicht nur die Größe der Sonnennähe A B des Kometen, ſondern auch deſſen Sonnenweite (größte Entfernung von der Sonne), alſo A B' oder A B'' ꝛc. kennte. Da aber der Komet über D und D' hinaus von der Erde aus nicht mehr ſichtbar iſt, ſo können wir ihn zur Zeit ſeiner größten Entfernung nicht beobachten. Die verſchiedenen Ellipſen durch B um den Brennpunkt A unterſcheiden ſich zwar auch ſchon durch ihre Krümmung bis D, aber — wenn nicht die Bahn ſehr klein iſt — wegen der verhältnißmäßigen Kürze des Stückes B D gegen den ganzen Umfang der Bahn um ſo wenig, daß wir dieſen Unterſchied nicht zu bemerken vermögen. Je länger die große Axe der Ellipſe B B' der Bahn des Kometen iſt, deſto weniger weicht das Stück B D ab von dem entſprechenden Stücke der Parabel, deren Brennpunkt A und deren Scheitel (nächſter Punkt an A) B iſt.

I.



II.



Da nun die großen Axen aller Kometenbahnen ſehr groß ſind, ſo pflegen die Aſtronomen das beobachtete Stück der Kometenbahn D D' als Theil einer Parabel zu betrachten und ſuchen folgende fünf Elemente (Beſtimmungsſtücke) der paraboliſchen Kometenbahn auf:

1) Die Neigung der Bahn oder den Flächenwinkel zwiſchen der Ebene, in welcher ſich der Komet bewegt, und der Ebene der Erdbahn (Ekliptik).

2) Die Länge des aufsteigenden Knotens der Kometenbahn auf der Ekliptik, d. h. die Angabe des Punktes der Ekliptik, in welchem dem Sonnenbewohner der Komet von der Südseite der Ekliptik zur Nordseite überzugehen scheint (s. Art. Knoten).

3) Die Distanz des Periheliums, oder den Abstand des Kometen von dem Centrum der Sonne, wenn er im Perihelio, d. h. in der Sonnennähe ist, ausgedrückt in Theilen der halben großen Axe der Erdbahn, die hier als Einheit angenommen wird.

4) Die Länge des Periheliums, oder die Richtung der Hauptaxe der Parabel, oder die Angabe des Punktes der Ekliptik, in welchem dem Sonnenbewohner der Komet erscheint, wenn er in seiner Sonnennähe ist, wobei man am gewöhnlichsten vom Frühlingsnachtgleichepunkte bis zum Knoten der Kometenbahn in der Ekliptik rechnet und von da an auf der Bahn selbst, so daß die Differenz zwischen der Knotenlänge und der Länge des Periheliums ein Bogen der wahren Anomalie ist (s. Art. Anomalie Bd. I. S. 230).

5) Die Zeit des Durchgangs durch die Sonnennähe, d. h. die Zeit, zu welcher sich der Komet im Scheitelpunkte der Parabel befindet, wobei die deutschen Astronomen gewöhnlich den Meridian der Berliner Sternwarte zu Grunde legen, während die brittischen vom Greenwicher und die französischen vom Pariser Meridiane an rechnen.

Außerdem muß angegeben werden, ob der Komet rechtläufig oder rückläufig sich bewegt, d. h. nach der Folge der Zeichen des Thierkreises oder in entgegengesetzter Richtung.

Aus diesen Elementen findet man die Länge der großen und der kleinen Axe der elliptischen Bahn des Kometen noch nicht, kann daher auch nicht die Länge seiner Bahn und die Zeit berechnen, welche der Komet braucht, um dieselbe zurück zu legen. Erst die weiter von der Sonne entfernten Punkte der Bahn weichen mehr und mehr von der Lage in einer Parabel ab, und man muß einen solchen Punkt kennen, um die Bahn des Kometen als eine Ellipse genauer bestimmen zu können. Man muß nämlich noch die Excentricität (den Abstand des Mittelpunktes der Ellipse von einem der Brennpunkte) finden, aus welcher mit Zuziehung der Distanz des Periheliums die halbe große Axe und aus dieser dann die Umlaufszeit bestimmt wird. Die Größe der Excentricität giebt man gewöhnlich an durch die in Decimalbruchtheilen ausgedrückte Verhältnißzahl derselben zu der halben großen Axe, oder durch den Winkel, den eine von dem Brennpunkte nach dem Endpunkte der kleinen Axe gezogene gerade Linie mit dieser letzteren macht, dessen Sinus dann die Excentricität ist. Aus der Größe dieses Winkels beurtheilt man die Abweichung der Ellipse vom Kreise.

Die Bestimmung der elliptischen Bahn eines Kometen ist von ganz besonderem Interesse. Bei dem 1815 von Olbers entdeckten, berechneten und nach ihm benannten Kometen reichten die Beobachtungen zur Feststellung der Bahn aus. Das Mittel, welches sich zur Bestimmung der elliptischen Bahn darbietet, ist folgendes.

Wenn von zwei zu verschiedenen Zeiten erschienenen Kometen die Elemente, durch welche der sichtbare Theil ihrer Bahn bestimmt wird, nahe dieselben sind, so kann man mit großer Wahrscheinlichkeit folgern, daß beide Male der nämliche

Komet erſchienen iſt. Der Unterſchied der Zeiten, es ſei denn, daß ſich dazwiſchen ein Komet mit denſelben Elementen gezeigt hätte, iſt dann die Umlaufszeit. Wenn nun gar in drei oder noch mehreren durch gleiche Zwiſchenräume getrennten Zeiten ſich Kometen mit übereinſtimmenden Elementen zeigen, ſo wird dieſe Wahrſcheinlichkeit noch bedeutend vermehrt, ja zur Gewißheit geſteigert. Aus der ſo gefundenen Umlaufszeit ergiebt ſich nun nach dem zweiten Kepler'ſchen Geſetze: die Quadrate der Umlaufszeiten zweier um die Sonne ſich bewegender Körper verhalten ſich wie die Cuben ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne, die mittlere Entfernung des Kometen, und dies reicht dann aus, um mit Hülfe der bekannten Diſtanz des Periheliums die Ellipſe zu beſtimmen.

Halley's Komet. Nachdem eben Newton die Geſetze, nach welchen die Himmelskörper ſich bewegen, genauer beſtimmt hatte, erſchien der rückläufige Komet vom Jahre 1682. Edmund Halley, Profeſſor der Aſtronomie zu Greenwich (geb. 1656, geſt. 1742), ſammelte alle genaueren aſtronomiſchen Kometenbeobachtungen und berechnete nach denſelben die Elemente von 24 Kometen. Er fand, daß 3 unter dieſen, nämlich die von den Jahren 1531, 1607 und 1682 in ihren Elementen ziemlich genau übereinſtimmten, und da nun dieſe Zeiträume ungefähr 74 Jahre jeder von dem nächſten abſtanden; ſo wurde er zu der Vermuthung geführt, daß es derſelbe Komet ſei, der nach einer Umlaufszeit von ungefähr 74 Jahren in den genannten Jahren erſchienen ſei. In dieſer Vermuthung wurde Halley noch durch den Umſtand beſtärkt, daß auch in den Jahren 1456, 1380, 1305, 1229 und 1154 Kometen geſehen worden waren; und ſo ſprach er denn die Erwartung aus, daß derſelbe — aus ſeinen Elementen kenntliche — im Jahre 1758 oder 1759 wieder erſcheinen werde, was auch in der That 1759 eintraf, obgleich Halley die Störungen, welche der Komet durch die Planeten während ſeines Umlaufs erlitt, nicht berückſichtigt hatte *). Clairaut **) brachte ſpäter — er reichte ſeine Reſultate 1758 der franzöſiſchen Akademie ein — dieſe Störungen in Rechnung. Der Komet wurde am 25. December 1758 vom Landmanne Palitzſch im Dorfe Prohlis bei Dresden zuerſt wieder erblickt, erreichte am 12. März 1759 ſeine Sonnennähe und hatte dieſelben Elemente, wie der von 1682, aber eine ſehr veränderte Geſtalt. Eben ſo veränderlich hatte ſich ſeine Geſtalt ſchon früher gezeigt, woraus — wie ſchon oben bemerkt worden iſt — hervorgeht, daß die Kometen während ihrer Umlaufszeit ſehr bedeutenden Veränderungen unterworfen ſein müſſen.

Clairaut war durch ſeine Rechnungen zu dem Reſultate gelangt, daß der Komet bei ſeiner Wiederkehr 1759 durch die Einwirkung des Jupiter um 518 Tage und durch die des Saturn um 100 verzögert worden ſei, ſo daß er das Perihelium am 13. April 1759 erreichen werde, wobei er jedoch noch eine anderweitige Verzögerung im Betrage eines Monats für wahrſcheinlich hielt. Das wirkliche Eintreten in das Perihelium am 12. März 1759 war alſo überraſchend genau. Bei der darauf folgenden Wiederkehr wurden die Correctionen mit noch größerer

*) Halley, Tabula astronomica de motu cometarum ecliptico. Lond. 1710; vergl. auch Halley, Astronomiae Cometicae Synopsis. Oxford 1705.

**) Théorie du mouvement des Comètes avec l'application de cette théorie à la comète qui a été observée 1531, 1607, 1682, 1759. Paris 1760.

Sorgfalt berechnet, der seitdem (1781) entdeckte Uranus mit in Rechnung gezogen, und Professor Rosenberger in Halle nahm sogar auf den Einfluß der kleineren Planeten: Mars, Erde, Venus und Mercur und auf die Wirkung des widerstehenden Mittels (Aethers) auf die Bewegung des Kometen Rücksicht. Rosenberger kam dem wahren Eintreten in das Perihelium, den 16. November 1835, am nächsten.

Die Dimensionen der Bahn des Halley'schen Kometen sind nach den Beobachtungen von 1835 bis 1836 folgende:

	In mittleren Erdabständen	In geographischen Meilen
Kleinste oder Periheldistanz	0,5866	12132000
Größte oder Apheldistanz	35,3660	731450000
Große Axe der Bahn	35,9526	743582000
Kleine Axe der Bahn	9,0072	188358000

Ueber das Nähere der letzten Erscheinung des Halley'schen Kometen verweisen wir auf Struve's Monographie: „Beobachtungen des Halley'schen Kometen bei seinem Erscheinen im Jahre 1835. Petersburg 1839", Bessel's Mémoire in der Connaissance des temps für 1839, deutsch in: astronomischen Nachrichten 1836 und in Schumacher's astron. Jahrbuch.

Nachdem die elliptische Bahn eines Kometen und somit seine Wiederkehr thatsächlich festgestellt war, unternahmen die Astronomen bei jedem Kometen die Untersuchung, sobald sich nur irgend Aussicht auf ein günstiges Ergebniß erwarten ließ. Diese Bemühungen sind nicht unbelohnt geblieben, so daß wir jetzt die Umlaufszeit mehrerer Kometen kennen.

Außer dem Halley'schen Kometen haben noch folgende fünf rechtläufige eine Umlaufszeit von ungefähr 75 Jahren um die Sonne:

Komet	Apheldistanz	Perihelsdistanz	Kleine Axe	Umlaufszeit
1) Pons 1812	33,414	0,777	10,192	70,68 Jahr
2) Olbers 1815.	34,055	1,213	12,854	74,05 "
3) de Vico 1846. IV.	34,351	0,664	9,550	73,25 "
4) Brorsen 1847. III.	35,071	0,488	8,273	74,97 "
5) Westphal 1852. III.	—	1,251	—	etwa 69 "

Nr. 1 wurde im Juli 1812 von Pons in Marseille, Nr. 2 von Olbers in Bremen am 6. März 1815, Nr. 3 von de Vico in Rom am 20. Februar 1846, Nr. 4 von Brorsen in Kiel im Juli 1847, Nr. 5 von Westphal 1852 in Göttingen entdeckt.

Außer diesen Kometen, deren Sonnenferne über die Bahn des Neptun noch hinaus reicht und die man deshalb wohl auch äußere Kometen nennt, kennt man noch mehrere, deren Sonnenferne kleiner als der Abstand eines Punktes in der Bahn des Neptun ist und die deshalb innere genannt werden. Wir geben die Elemente dieser 6 inneren Kometen, welche alle rechtläufig sind, nach A. v. Humboldt *).

*) Kosmos. Bd. III. S. 571.

	Encke	de Vico	Brorsen	d'Arrest	Biela	Faye
Durchgangszeit durch das Perihel in mittl. Pariser Zeit	1848 Nov. 26 $2^h\ 55'\ 56''$	1844 Sptb. 2 $11^h\ 33'\ 57''$	1846 Febr. 25 $9^h\ 8'\ 1''$	1851 Juli 8 $16^h\ 57'\ 23''$	1846 Febr. 10 $23^h\ 51'\ 36''$	1843 Oct. 17 $3^h\ 42'\ 16''$
Länge des Perihels . . .	$157^0\ 47'\ 8''$	$342^0\ 30'\ 55''$	$116^0\ 28'\ 15''$	$322^0\ 59'\ 46''$	$109^0\ 2'\ 20''$	$49^0\ 34'\ 19''$
Länge des aufst. Knotens . .	334 22 12	63 49 17	102 40 58	148 27 20	245 54 39	209 29 19
Neigung gegen die Ekliptik .	13 8 36	2 54 50	30 55 53	13 56 12	12 34 53	11 22 31
Halbe große Axe	2,214814	3,102800	3,146494	3,461846	3,524522	3,811790
Perihel-Distanz	0,337032	1,186401	0,650103	1,173976	0,856448	1,692579
Aphel-Distanz	4,092595	5,019198	5,642884	5,749717	6,192596	5,931001
Excentricität	0,847828	0,617635	0,793388	0,660881	0,757003	0,555962
Umlaufszeit in Tagen . . .	1204	1996	2039	2353	2417	2718
Umlaufszeit in Jahren . .	3,30	5,47	5,58	6,44	6,62	7,44
Berechnet von	Encke, Astronomische Nachrichten. Bd. XXVII. S. 113.	Brünnow, gekrönte Preisschrift, Amsterdam 1849.	Brünnow, Astronomische Nachrichten. Bd. XXIX. S. 377.	d'Arrest, Astronomische Nachrichten. Bd. XXXIII. S. 125.	Plantamour, Astronomische Nachrichten. Bd. XXV. S. 117.	Le Verrier, Astronomische Nachrichten. Bd. XXIII. S. 196.

Zwar hat man noch 5 andere Kometen von kurzer Umlaufszeit berechnet: 1) von 1743, 5,436 Jahr; 2) von 1766, entdeckt von Meſſier, 5,025 J.; 3) von 1783, entdeckt von Pigott, 5,613 J.; 4) von 1819, von Pons entdeckt, 5,618 J.; 5) von 1819, entdeckt von Blanpain, 4,75 J.; es ſcheinen dieſelben indeſſen verloren zu ſein, da ihre Wiederkehr nicht beobachtet worden iſt.

Endlich hat die Berechnung für mehrere Kometen eine noch größere Umlaufsperiode ergeben, als die Kometen der erſteren Gruppe beſitzen.

1) Für den Kometen von 1680 fand Encke als kürzeſte Periode 805 Jahre, am wahrſcheinlichſten ſind aber 8843 Jahre.
2) Komet von 1683 mit einer Umlaufszeit von 190 Jahren nach Clauſen's Berechnung.
3) Komet von 1763 mit einer Periode von 7334 Jahren nach Burckhardt, aber von 1137 Jahren nach Lexell.
4) Komet von 1769 nach Beſſel mit einer Periode von 2090 Jahren, vielleicht aber auch von 1692 oder 2673 Jahren.
5) Komet von 1807 nach Beſſel mit einer Umlaufszeit von 1714 Jahren.
6) Komet 1 von 1811 nach Argelander mit einer Periode von 3065 Jahren.
7) Komet 2 von 1811, von Pons entdeckt, nach Nicolai von 875 Jahren Umlaufszeit.
8) Komet 4 von 1822, von Pons entdeckt, nach Encke von 5444 Jahren Umlaufszeit.
9) Großer Komet von 1825 nach Hanſen von vielleicht 4386 Jahren Umlaufszeit.
10) Komet 4 von 1840, von Bremiker entdeckt, nach Götze von 344 J. Umlaufszeit mit einer Unſicherheit von etwa 10 Jahren.
11) Komet von 1844, von Mauvais am 7. Juli entdeckt, nach Plantamour von 102050 Jahren Umlaufszeit mit einer Unſicherheit von 3090 Jahren.
12) Komet von 1845, von Colla entdeckt, nach d'Arreſt identiſch mit dem 1596 von Tycho de Brahe beobachteten und demnach mit einer Umlaufszeit von 249 Jahren.
13) Komet von 1846, III de Vico's, nach Jelinek von 2720 Jahren Umlaufszeit mit einer Unſicherheit von 400 bis 500 Jahren.
14) Komet von 1846, II Brorſen's, nach Wichmann von 401 Jahren und nach Ondemann von 500 Jahren Umlaufszeit.

Durch fortgeſetzte Beobachtung und Berechnung der erſcheinenden Kometen wird ſich die Zahl der periodiſchen Kometen immer mehr vergrößern.

Auffallend erſcheint die Lücke zwiſchen den periodiſchen Kometen von 6jähriger und 75jähriger Umlaufszeit. Es hat dies bereits zu der naheliegenden Vermuthung Veranlaſſung gegeben, daß jede dieſer Gruppen einen gemeinſchaftlichen Urſprung habe, nämlich, daß in irgend einer entfernten Epoche ein großer Komet ſich in mehrere Theile geſpalten habe, ähnlich wie die Aſteroiden von einem einzigen zerſprungenen Planeten abgeleitet werden. Indeſſen die Elemente zeigen mit Ausnahme der Umlaufszeit durchaus keine Aehnlichkeit und namentlich nicht, wie es in einem ſolchen Falle nothwendig ſein müßte, einen gemeinſchaftlichen

Kreuzungspunkt im Raume. Ueberdies wird es durch die Periode von 16 Jahren, welche der am 26. Juni 1846 von Peters entdeckte Komet (der sechste dieses Jahres) haben soll, wahrscheinlich, daß sich mit der Zeit die Lücke ausfüllen wird. In den Jahren 1858 bis 1860 wird sich dies entscheiden.

An dieser Stelle erwähnen wir eines Phänomens, welches bei den Astronomen das größte Erstaunen erregt hat, da man die bloße Möglichkeit desselben vorher kaum ahnte. Der oben unter den inneren Kometen aufgeführte Biela'sche erschien nämlich Ende 1845 und Anfangs 1846 in zwei Kometen getheilt. Am 19. December 1845 bemerkte Hind bereits in dem ungetheilten Kometen eine Anschwellung gegen Norden; am 29. December scheint man in Nordamerika die Theilung zuerst wahrgenommen zu haben, und in Europa wurde dieselbe im Januar 1846 ebenfalls erkannt. Die beiden Kometen gingen von einander gesondert weiter, der kleinere nördlich voran. Plantamour berechnete für jeden Kometen insbesondere die dem Perihel von 1846 entsprechenden Elemente und fand:

Durchgang durch das Perihel 1846	Haupt-Komet	Begleiter
Februar 11. . . .	0^h 6′ 51″	Febr. 11. 1^h 42′ 40″ Mittl. Genfer Zeit
Länge des Perihels	109° 2′ 20″,1	109° 2′ 39″,6
Länge des aufsteigenden Knotens	245. 54. 38,8	245. 56. 1,7
Neigung	12. 34. 53,3	12. 34. 14,3
Halbe große Axe .	3,52453	3,50846
Kleinster Abstand	0,856448	0,856439
Excentricität . .	0,757001	0,755900
Umlaufszeit . . .	2416,74 Tage	2400,33 Tage.

Die Wiederkehr dieser beiden Kometen erfolgte 1852. Secchi fand den einen am 25. August, den anderen am 15. September. Der Abstand beider Kometen war bedeutend geworden, und es scheint demnach, als ob aus dem einen Kometen für immer deren zwei geworden seien.

Von nicht minderem Interesse ist ein Resultat, zu welchem der Encke'sche Komet geführt hat. Dieser Komet legt seine Bahn in ungefähr $3^1/_4$ Jahren zurück und wurde am 26. November 1818 von Pons in Marseille entdeckt. Encke berechnete seine Bahn und sagte voraus, daß derselbe im Jahre 1822 zurückkehren, dann aber nur für die südliche Erdhalbkugel bemerkbar sein werde. Dort entdeckte ihn auch der Astronom Rümcker auf Neuholland am 2. Juni und beobachtete ihn bis zum 23. desselben Monats. Der Komet ist seitdem auch 1825, 1828, 1832, 1835, 1838, 1842, 1845, 1848, 1852 wieder beobachtet worden und eben so ist sein Erscheinen im Jahre 1786, 1795, 1805 nachgewiesen. Encke machte die Erfahrung, daß der Komet stets etwas früher, nämlich $2^1/_2$ Stunde, den Punkt des geringsten Abstandes von der Sonne erreichte, als es der Rechnung nach hätte sein sollen. Dieser Effect zeigte sich unabhängig von der Einwirkung der Planeten, und nun nahm Encke an, daß ein dünnes ätherisches Medium die planetarischen Räume erfülle, das aber gleichwohl noch hinreichend dicht sei, um auf einen Körper von so geringer Dichtheit, wie der Komet, einen Einfluß auszuüben, obwohl unfähig, auf die Bewegungen der compacteren

Digitized by Google

Planetenmassen einen irgend merklichen Effect zu äußern. Diese Annahme ist durch die Ergebnisse der neueren Beobachtungen und Berechnungen fast in Gewißheit verwandelt *).

Wenn der Komet auf seinem Umlaufe einen Widerstand erfährt, so wird dadurch natürlich die anziehende Kraft der Sonne vermehrt, und der Komet wird in Folge hiervon in eine verengerte Bahn gezogen, d. h. die große Axe wird immer kleiner. Nothwendig muß dann nach dem Kepler'schen Gesetze die Umlaufszeit verkleinert werden. Was wird nun die Folge hiervon sein? Wird der Komet schließlich in die Sonne stürzen? — Es ist möglich, daß der Einfluß der Planeten auf den Lauf dieses Kometen, wie wir einen solchen, ausgeübt von dem Jupiter insbesondere, mehrfach in diesem Artikel kennen gelernt haben, eine solche Katastrophe überhaupt verhindert. Es ist denkbar, daß der Komet endlich in einen Planeten übergeht; denn da sich die Bahn immer mehr der Kreisform nähert, so wird sie den fast kreisförmigen Ellipsen der Planetenbahnen ähnlich, und der Encke'sche Komet würde endlich in einer mittleren Entfernung wie die kleinen Planeten zwischen Mars und Jupiter seinen Lauf um die Sonne nehmen. Für letztere Möglichkeit scheint auch noch zu sprechen, daß man an diesem Kometen niemals einen Schweif bemerkt hat, sondern daß derselbe stets nur als ein unansehnlicher, nur schwer mit bloßen Augen zu entdeckender, von einer Dunsthülle umgebener Stern erschienen ist. Der Kern desselben befand sich aber nicht genau in der Mitte der Dunsthülle, sondern der größere Theil derselben befand sich auf der von der Sonne abgekehrten Seite.

Neben der durch den Encke'schen Kometen festgestellten Existenz des Aethers, dessen Widerstand — wie oben angegeben ist — auch bei der so zutreffenden Berechnung des Halley'schen Kometen von Rosenberger in Rechnung genommen wurde, ist noch eines für die Astronomen wichtigen zweiten Resultates Erwähnung zu thun, zu welchem derselbe Komet ebenfalls geführt hat. Es hat sich nämlich herausgestellt, daß Laplace die Masse des Merkur in der Mécanique céleste zu groß angesetzt hat, und daß diese im Verhältnisse 7 : 12 vermindert werden muß.

Aus den Beobachtungen von 1852 ergeben sich folgende Elemente des Encke'schen Kometen:

Aphel-Distanz	= 4,0927	= 84667000 Meilen
Perihel-Distanz	= 0,3370	= 6969950 "
Halbe große Axe	= 2,21485	= 45818475 "
Halbe kleine Axe	= 1,17445	= 24290600 "
Umlaufszeit	= 3,296 Jahr	= 1203,8 Tage.

Von den zahlreichen Schriften über Kometen mögen hier zwei eine Stelle finden:

Olbers über die leichteste Methode die Bahn eines Kometen zu berechnen. 1. Aufl. Weimar 1797; 2. Aufl. besorgt von Encke. Mit einer bis 1846 fortgeführten Kometentafel von Galle, einer neuen Berechnung der Barker'schen Tafel von Luther und anderen Zusätzen. Berlin 1847.

The Comets. A descriptive treatise upon those bodies. By J. R. Hind. London 1852. In deutscher Bearbeitung mit zahlreichen Anmerkungen und Zusätzen

*) Vergl. auch Art. Aether. Bd. I. S. 121.

von Mädler: Die Kometen. Eine gemeinfaßliche Beſchreibung dieſer Körper nebſt einer kurzen Ueberſicht der neueren Entdeckungen und einer Tafel der Kometenbahnen. Leipzig 1854. Enthält auch eine vollſtändige Literatur der Kometenkunde. H. E.

Korkkugelelektrometer, ſ. Elektrometer.

Kraft, ſ. Bewegung und Materie.

Kraftmeſſer, Dynamometer (v. d. griech. *δύναμις*, Kraft und *μέτρον*, Maaß) iſt eine Vorrichtung, durch welche die abſolute Größe von Kräften oder deren Wirkung gemeſſen wird. Eine Zuſammenſtellung der Hauptarten von Dynamometern giebt der Art. Dynamometer (Bd. II. S. 572), in welchem auch bereits auf mehrere Artikel Bezug genommen iſt, in denen einzelne Arten ihre ſpecielle Erledigung finden. Der Vollſtändigkeit wegen, falls in dieſem Artikel ein Nachweis über die Manometer geſucht werden ſollte, verweiſen wir noch deshalb auf Art. Dampfmaſchine Bd. II. S. 343 ff. Im vorliegenden Artikel beſchränken wir uns auf die im Art. Dynamometer unter I. 1) angeführten Feder-Dynamometer zum Meſſen der Zug- und Druckkräfte belebter und unbelebter Motoren, werden aber auch die unter I. 3) angeführten Dynamometer zur Beſtimmung der abſoluten Feſtigkeit der Körper kurz berühren, da im Art. Feſtigkeit dieſelben keine Stelle gefunden haben.

1. Feder-Dynamometer oder Federwagen zum Meſſen von Zug- und Druckkräften.

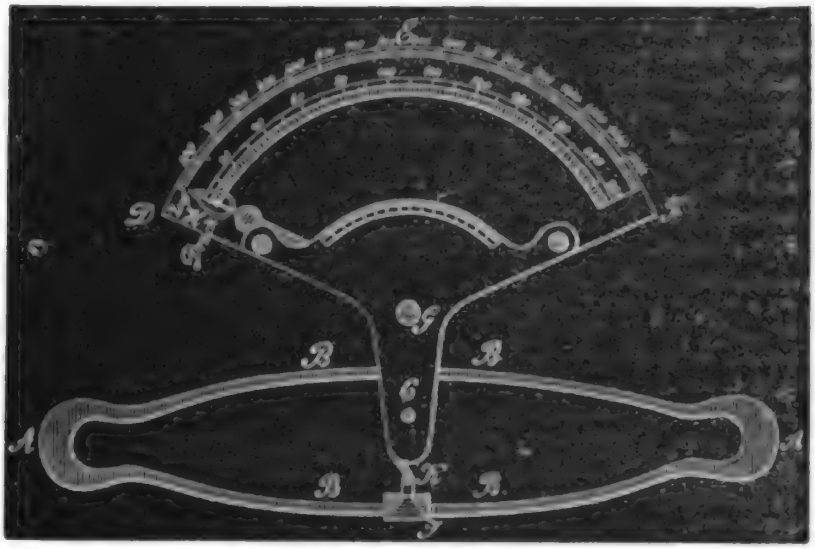
Das erſte zweckmäßige und auch jetzt noch — mit theilweiſen Veränderungen — gebräuchliche Dynamometer zum Meſſen ziehender Kräfte iſt von Regnier *) angegeben. Es gründet ſich auf die Elaſticität des Stahls und wird namentlich angewendet, wenn es ſich um die Frage handelt, wie groß die Kraft ſei, welche die Zugthiere bei dem Gebrauche eines neuen Ackergeräthes, Wagens ꝛc. aufwenden müſſen, kann aber eben ſo zur Ermittelung jeder anderen Zugkraft, z. B. der Zugkraft in den Armen eines Menſchen gebraucht werden. Die Einrichtung iſt folgende:

A B B A in den umſtehenden Fig. I. und III. iſt eine ellipſenartig gekrümmte Stahlfeder, gewöhnlich mit Leder überzogen, und aus gut gehärtetem Stahle verfertigt. Man verſichert ſich zuvor durch Anwendung einer Kraft (Gewichte), welche ſtärker iſt, als alle, welche an dem Inſtrumente geſchätzt werden ſollen, von ihrer Güte, und auch ſonſt prüft man die Feder öfter, um ſich zu überzeugen, ob ſie an Elaſticität etwa verloren hat. An dem einen Arme der Feder bei C iſt eine Meſſingplatte C D E F befeſtigt, welche mit zwei eingetheilten Kreisbogen, einer nach Myriagrammen, der andere nach Kilogrammen, verſehen iſt. In der Mitte dieſer Scheibe, in G, iſt ein Zeiger G H mit zwei Spitzen für die beiden Eintheilungen, welcher durch ſeinen Stand die beim Zuſammendrücken oder Ausdehnen des Ringes aufgewendete Kraft angiebt. An dem anderen Arme der Feder iſt bei J ein Träger

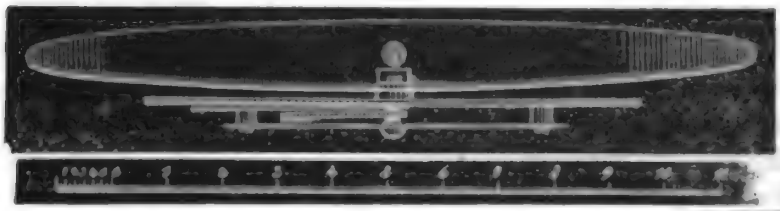
*) Journ. des mines. No. 132. 1807; Journ. de l'Ecole Polytech. T. II. p. 160. G. T. II. p. 91; Phil. Mag. T. I. p. 399.

von Stahl befeſtigt auf dieſelbe Weiſe durch Schrauben, wie der bei C (ſiehe die Seitenanſicht in Fig. IV.). Der Träger endigt in eine Gabel K, in welcher der

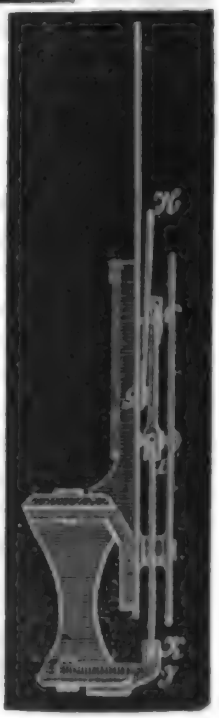
I.



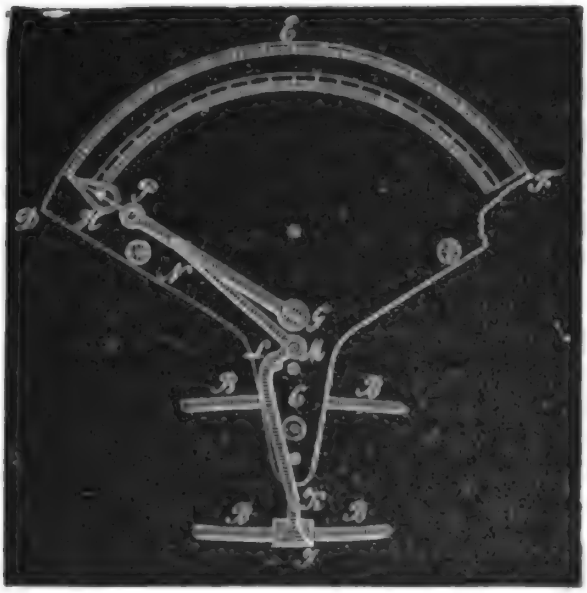
II.



IV.



III.



Digitized by Google

kupferne Zurückſtoßer K L ſich frei bewegen kann, der mit dem anderen Ende L auf gleiche Weiſe mit einem Winkelhebel L M N in Verbindung ſteht, der ſich um M dreht und bei N mit einem Stifte verſehen iſt, durch welchen er bei ſeiner Bewegung den Zeiger G H fortſchiebt. An dem Zeiger iſt bei P auf der unteren Seite ein kleines Polſter von Tuch oder Leder angebracht, damit er beim Aufhören des Druckes, durch welchen er vorwärts geſchoben wird, auf der Meſſingplatte C D E F durch Reibung feſtgehalten wird und nicht zurückgeht. — Fig. II. giebt den Grundriß des Apparates.

Die erſte Eintheilung nach Myriagrammen dient zu allen Verſuchen, welche die elliptiſche Feder nöthigen, ſich nach ihrer großen Axe zu verlängern, wie bei der Prüfung der Stärke eines Zugthieres, in welchem Falle man das eine Ende der Feder A mittelſt eines Hakens oder Ringes an dem Gegenſtande befeſtigt, auf welchen der Zug ausgeübt werden ſoll, während man an dem anderen Ende A auf gleiche Weiſe die Wage anbringt, an welche das Thier geſpannt wird; die zweite Eintheilung nach Kilogrammen iſt für die Verſuche (z. B. zur Prüfung der Muskelkraft der Hand) beſtimmt, bei welchen man die beiden Arme der Federn bei B zuſammendrückt. Drückt man die Feder zuſammen oder zieht man ſie im längeren Durchmeſſer aus einander, ſo nähern ſich jedesmal die beiden Arme. Dabei bewegt der Zurückſtoßer K L den Hebel L M N vorwärts und dieſer treibt den Zeiger, der dann an dem Orte ſtehen bleibt, bis zu welchem er getrieben wurde. Nach jedem Verſuche muß der Zeiger zurückgedreht werden.

Die Eintheilung der Scheibe wird durch Verſuche mit Gewichten beſtimmt.

Wie ſich aus dieſer Darſtellung ergiebt, wird durch einen ſolchen Apparat nur die größte Kraft angezeigt, welche bei ſeinem Gebrauche aufgewendet wurde. Wollte man die mittlere Kraft beſtimmen, ſo müßte der Winkelhebel ſeinen Drehpunkt im Mittelpunkte der Eintheilung haben, ſo daß der Hebelarm M N unmittelbar den Zeiger abgäbe. In dieſem Falle würde der Zeiger je nach Verhältniß der aufgewendeten Kraft vor- und rückwärts ſchwanken und nach ſeinen Schwingungen wäre dann der mittlere Stand deſſelben zu beurtheilen.

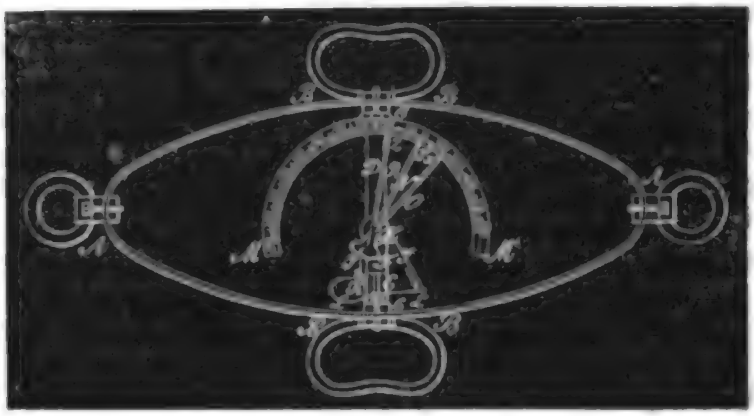
Das verbeſſerte Regnier'ſche Dynamometer ſtellt umſtehende Fig. I. dar*), und Fig. II. giebt einen Querdurchſchnitt durch die Mitte. A B B A iſt wieder die elliptiſche Stahlfeder, zwiſchen A und B am ſchwächſten, etwa 1 Linie, und bei A am ſtärkſten, etwa $1\frac{1}{2}$ Linie dick. Bei A und B ſind beſondere Handhaben angebracht, deren Befeſtigung an der Feder aus der Zeichnung II. erſichtlich iſt; nur bemerken wir, daß die Handhaben bei B feſt ſind, während die bei A aus beweglichen Ringen beſtehen. An dem Backen C der Handhaben bei B auf der inneren Seite der Feder iſt auf der einen Seite eine Schiene D, auf der anderen eine ähnliche Schiene E befeſtigt. Die Schiene E hat einen Spalt und die Schiene D bei F eine Schraube, welche, wenn die beiden Schienen ſich auf einander verſchieben, in die Spalte eingreift und ſo eine Abweichung von der geraden Richtung verhindert. Auf der Schiene D ſteht eine kleine ſenkrechte Axe G (Fig. II.), und auf dieſer befindet ſich loſe eine meſſingene Rolle H (Fig. I.), welche an ihrem Umfange ein paar Schraubenwindungen zur Aufnahme einer ſeidenen Schnur J J beſitzt. Dieſe ſeidene Schnur iſt bei K an E befeſtigt, dann zweimal um die Rolle H ge-

*) Prechtl's techn. Encyklopädie. Taf. 73.

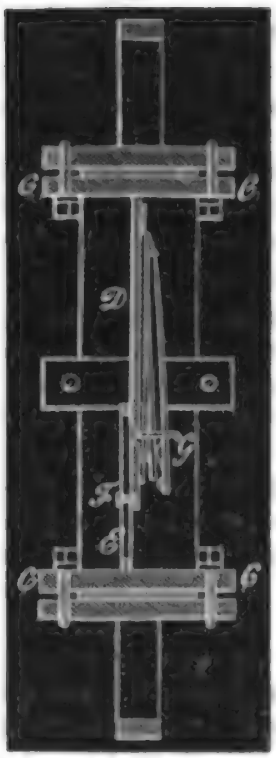
ſchlungen und mit dem anderen Ende an einer, ebenfalls bei K befeſtigten, dünnen Stahlfeder L L angemacht. Auf der Schiene D iſt ein Gradbogen M M', deſſen Mittelpunkt die Axe G iſt, um welche ſich ebenfalls der auf der Rolle H befeſtigte Zeiger N dreht.

Zieht man die Feder an den Handhaben B B aus einander, ſo entfernt ſich

I.



II.



II.

der Punkt K von der Schiene D, das Schnurende von der Rolle H nach K hin wird länger und die Rolle H muß ſich umdrehen und zwar ſo, daß der Zeiger N nach M hin ſich bewegt; hört die Kraft auf zu wirken, ſo zieht die Feder L die Schnur in der Richtung des Pfeiles (Fig. I.) wieder zurück und giebt dem Zeiger ſeine urſprüngliche Stellung wieder. Zieht man die Feder an den Handhaben A A aus einander, ſo nähert ſich K der Schiene D, das Schnurende zwiſchen K und der Rolle H wird ſchlaffer und die Feder L zieht das andere Ende der Schnur an, ſo daß wiederum die Rolle H und mit ihr der Zeiger N in Bewegung kommt, nur in einer der vorigen entgegengeſetzten Richtung, nämlich nach M' hin; hört die Kraft auf zu wirken, ſo geht der Zeiger wieder auf ſeine frühere Stellung zurück, da die Handhaben B B ſich wieder von einander entfernen, während ſie bei dem Zuge in A A ſich einander genähert hatten.

Auf dem Gradbogen ſteht da, wo der Zeiger ſeine Stellung hat, wenn keine Kraft auf das Dynamometer einwirkt, Null. Die Eintheilung von hier aus nach M und M' hin wird durch Verſuche mit Gewichten hergeſtellt und iſt keineswegs ſymmetriſch. Um die Feder in der Richtung der Handhaben A A auszuziehen, gehört nämlich mehr Kraft dazu, als daſſelbe in der Richtung der Handhaben B B zu bewerkſtelligen. Daher kommt es, daß auf dem kleineren Theile des Gradbogens nach

M' hin die Zahlen weiter reichen, als auf dem größeren nach M zu; außerdem ſind die gleichen Kräftezuwächſen entſprechenden Theile des Gradbogens um ſo kleiner, je weiter ſie von dem Nullpunkte abſtehen, da die Formveränderung der Feder bei anfangender Wirkung der ziehenden Kräfte bedeutender iſt, als bei ſchon geſteigerter.

Da der Zeiger N jedesmal auf Null zurückſpringt, wenn die Kraft zu wirken aufhört, ſo ſind noch zwei Hülfszeiger O und R angebracht, welche auf der Axe G loſe aufſtecken, O unmittelbar über dem Zeiger N und R über O. Fig. II. zeigt nur den einen Hülfszeiger O, während Fig. III. den Zeiger R für ſich darſtellt. Hier iſt a die Oeffnung für die Axe G und b ſtellt eine kleine Feder vor, welche auf dem Zeiger O ruht. Ganz ebenſo iſt der Zeiger O eingerichtet, der mit der kleinen Feder auf N aufliegt. Dieſe kleinen Federn halten die Hülfszeiger da feſt, wo ſie hingeſchoben werden. Ihre Verſchiebung geſchieht aber durch den Zeiger N mittelſt des Stiftes S auf demſelben, und da auf jeder Seite von N ein Hülfszeiger ſich befindet, ſo wirkt derſelbe, ſei es, daß er nach M oder M' hin ſich bewegt, jedesmal auf einen derſelben. Damit die Zeiger R und O genau den Stand des Zeigers N angeben, haben ſie bei X und Z Ausſchnitte zur Aufnahme des Stiftes S am Zeiger N, und die dem Zeiger N zugewendeten Kanten ſind bis zur Spitze ſo geführt, daß dieſe genau über der Spitze des Zeigers N ihre Stelle erhält.

Wie das urſprüngliche Regnier'ſche Dynamometer iſt auch dieſes ein Maximum-Dynamometer. Ein weſentlicher Vorzug beſteht in den Handhaben. Daß nach längerem Gebrauche, namentlich wenn ſtarke Kräfte an dem Inſtrumente geprüft worden ſind, eine Reviſion der Scala ſtattfinden muß, verſteht ſich von ſelbſt, da die Elaſticität der Stahlfeder nicht ungeändert geblieben ſein könnte.

Die eben beſchriebenen Dynamometer haben bei Beſtimmung der mittleren Kraft den Nachtheil, daß es ſchwer hält bei den ſchnellen Schwankungen des Zeigers den mittleren Stand deſſelben anzugeben. Zur Abhülfe hiervon dient folgende Einrichtung *).

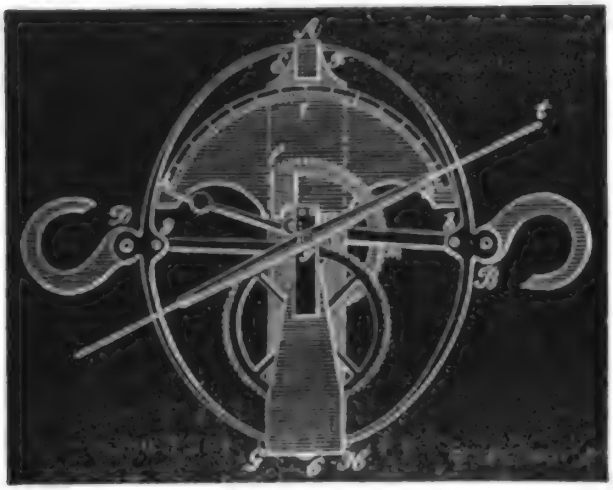
Umſtehende Fig. I. giebt die vordere Anſicht, Fig. II. den Durchſchnitt nach der Fläche, Fig. III. den Querſchnitt nach der Linie M N O P (Fig. II.). Das Inſtrument beſteht aus einer elliptiſchen, hinlänglich ſtarken Stahlfeder A B C D, wovon die längere Axe A C gewöhnlich 8 bis 10 und die kürzere B D 6 bis 8 Zoll mißt. An den Punkten B und D ſind die Haken für die Zugkraft befeſtigt. An der inneren Seite des Ringes befinden ſich die Zugſtangen b f und d e, welche mit der Axe g durch die Hebel f g und e g verbunden ſind. Auf dieſer Axe iſt der Zeiger g h aufgeſteckt. Wird nun der Ring bei B und D aus einander gezogen, ſo wird durch die Zugſtangen b f und d e mittelſt der Hebel f g und g e der Zeiger gedreht, und hierdurch die angewandte Kraft an der Scala angezeigt.

Um die zu große Beweglichkeit des Zeigers zu verhindern, iſt die Axe g mit dem am Umfange gezähnten Segmente l m n verbunden, welches in das Getriebe n o eingreift, hierdurch das Rad p q und weiter das Getriebe q r und die Windflügel s t ſehr ſchnell umdreht. Der Widerſtand, welchen die letzteren bei ihrer

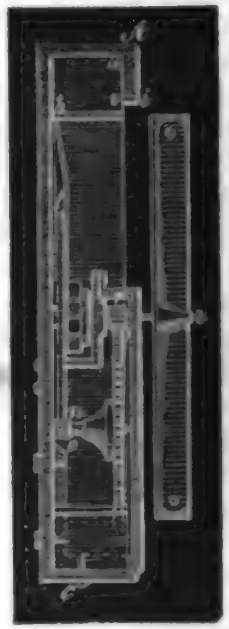
*) Handbuch der Mechanik von v. Gerſtner. 2. Aufl. Prag 1833. Bd. I. S. 218.

Bewegung in der Luft finden, verurſacht, daß die vor- und rückgehende Bewegung des Zeigers g h auf einen geringeren Spielraum beſchränkt wird, woraus nun der mittlere Stand des Zeigers mit größerer Sicherheit beurtheilt werden kann.

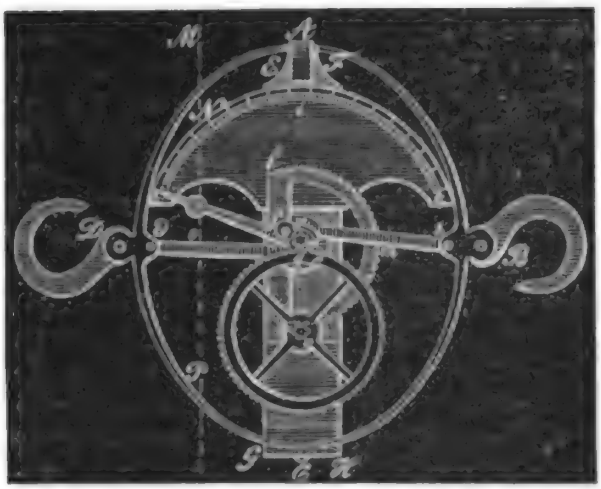
I.



III.



II.



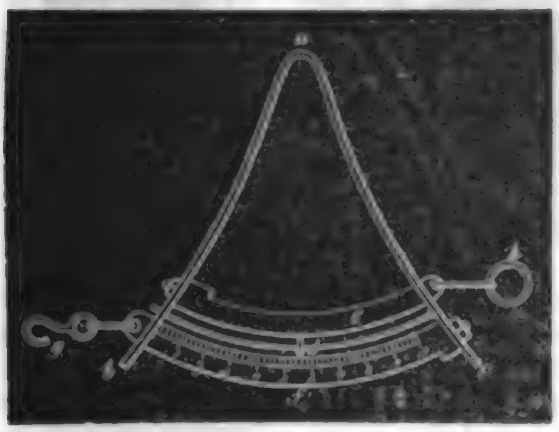
Der Bogen h i k der Scala iſt auf der Platte E F G H befeſtigt, in welcher zugleich die Axen der geſammten Getriebe und Räder ſich bewegen. Dieſe Platte iſt an dem Ende G H an dem ſtählernen Ringe bei C feſtgemacht; weil aber der Ring bei dem Gebrauche ſich zuſammenzieht, ſo iſt das Ende E F der Platte E F G H nur mit einem über den Ring herabgehenden Stifte A i (Fig. III.) in der Art verbunden, daß für das Zuſammenziehen des Ringes der Spielraum u v frei bleibt.

Ein ſehr brauchbares Dynamometer, welches aus zwei gleich ſtarken geraden Stahlfedern von $^1/_4$ bis $^1/_2$ Meter Länge zuſammengeſetzt iſt, hat Morin

benutzt *). Die Federn ſind an ihren Enden in einander eingelenkt und an der Mitte der einen zieht die Kraft, während die Mitte der andern befeſtigt wird.

Es verſteht ſich von ſelbſt, daß die eben beſchriebenen Kraftmeſſer je nach den zu meſſenden Kräften in größeren oder kleineren Dimenſionen angefertigt werden müſſen; indeſſen kann man auch ein ſchwächeres Inſtrument für ſehr bedeutende Kräfte noch gebrauchen, wenn man nur die Kraft nicht unmittelbar, ſondern durch einen Flaſchenzug auf das Inſtrument einwirken läßt, durch welchen die Wirkung der Kraft je nach der Einrichtung des Flaſchenzugs gemindert wird. Allerdings wird man dann auf keine große Genauigkeit im Reſultate Anſpruch machen können, was jedoch, falls es nur auf eine relative Beſtimmung ankommt, nicht weſentlich in Betracht kommt.

Handelt es ſich um die Meſſung ſehr kleiner Kräfte, ſo wendet man zweckmäßig ein Inſtrument mit einer mehr biegſamen Feder an. Solcher Inſtrumente ſind mehrere conſtruirt worden. Regnier giebt folgenden Apparat an. Es iſt (ſiehe nebenſtehende Figur) bac ein winkelförmig gebogener Stahlſtreifen, an deſſen einem Schenkel ab der Bogen e befeſtigt iſt, während das andere Ende, welches mit einem Ringe h verſehen iſt, durch einen Schlitz im anderen Schenkel ac frei hindurch geht. Eben ſo iſt die Scala f an dem Schenkel ac befeſtigt und geht durch einen Schlitz des Schenkels ab. Der Haken g an der Scala wird irgend wo befeſtigt und an dem Ringe h wirkt die Kraft; hierdurch wird die Feder zuſammengedrückt und dadurch ein — auf einem an dem Schenkel ac zwiſchen den Bogen e und f befeſtigten, durch ab frei hindurchgehenden, bogenförmigen vergoldeten Meſſingdrahte befindliches — kleines geöltes Lederſcheibchen d vorwärts geſchoben. Dieſes Scheibchen, welches beim Auseinandergehen der Schenkel ſtehen bleibt, dient als Zeiger für die Scala f, welche durch Verſuche bis zu 10 Pfund getheilt iſt.

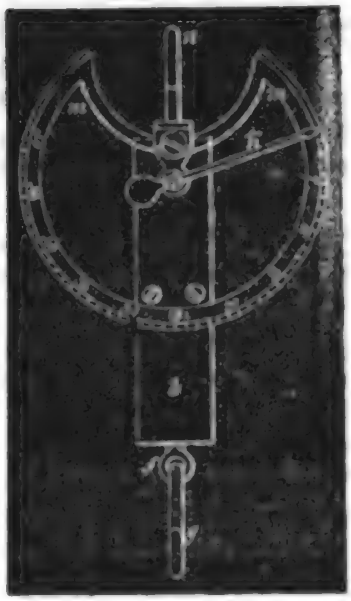


Da bei übermäßiger Anſtrengung der Feder dieſe dem Zerbrechen ausgeſetzt iſt, ſo hat Freſez derſelben eine ſchraubenförmige Geſtalt gegeben. Iſt in dieſer Form die Zuſammendrückung bis zur Berührung der Windungen fortgeſchritten, ſo kann natürlich keine weitere Zuſammendrückung erfolgen, wenn auch die Kraft noch verſtärkt wird. Von den umſtehenden Figuren giebt Fig. I. die vordere und Fig. II. die ſeitliche Anſicht. In einem meſſingenen, an beiden Seiten offenen Gehäuſe bb befindet ſich die Feder a. Das untere Ende derſelben ſtützt ſich gegen den Boden des Gehäuſes, auf dem oberen Ende ruht die Scheibe e, die ſich an

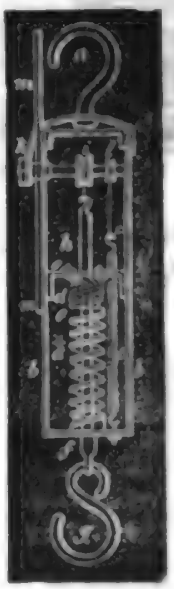
*) Description des appareils chronometriques à style et des appareils dynamometriques. Metz 1838.

der Spindel fh befindet. An dem bei f angebrachten Haken g zieht die zu prüfende Kraft, während der andere Haken n am Gehäuſe bb zur Befeſtigung des Inſtrumentes dient. Die Spindel fh geht durch ein Loch der horizontalen Scheidewand c des Gehäuſes und endigt oben in einem kleinen Haken, an welchem eine feine ſeidene Schnur oder ein dünner Meſſingdraht angemacht iſt, der an der Rolle i, um welche er einmal herumgeſchlagen wird, befeſtigt iſt. Wird nun an g gezogen, ſo dreht ſich die Rolle i und mit ihr der an ihrer Are angebrachte Zeiger k, welcher alsdann an der Scala die Größe der aufgewendeten Kraft angiebt. Damit nun beim Nachlaſſen der Kraft in g der Zeiger von ſelbſt wieder zurückgeht, iſt noch die ſpiralförmige Feder o angebracht, welche an einer über die Rolle l gehenden Schnur die Are wieder in entgegengeſetzter Richtung dreht. Da hierdurch und durch die Elaſticität der Feder a eine Schwankung des Zeigers bedingt iſt, ſo wird zwiſchen c und e noch eine kleine ſchraubenförmige Feder d angebracht, welche den Schwingungen der Feder a entgegenwirkt und erſtens den Zeiger bald zur Ruhe bringt, zweitens aber auch beim plötzlichen Nachlaſſen der in g ziehenden Kraft das plötzliche Zurückſchlagen der Feder a verhindert.

I.



II.



2. Kraftmeſſer für drehende Kräfte.

Es iſt unmöglich hier alle Vorſchläge zu erwähnen, welche zur Meſſung der lebendigen Kraft bei drehender Bewegung gemacht worden ſind. Wir werden daher nur einige Brems-Dynamometer genauer beſchreiben, und führen blos an, daß Regnier eine dynamometriſche Kurbel vorſchlug, welche ſich bei der Umdrehung erſt biegt, bis ihre Elaſticität dem Widerſtande gleich kommt. Die Biegung wird beim Eintritt der Bewegung an einem Gradbogen gemeſſen, welcher durch vorausgegangene Verſuche eingetheilt iſt. Hachette ſchlug dafür eine ſteife Kurbel vor, ließ dieſe aber auf eine an der Welle befeſtigte ringförmige Feder wirken, während die Kurbel ſelbſt loſe auf dem runden Zapfen aufgeſteckt wird. Es liegt auf der Hand, daß man die Combinationen leicht vervielfältigen kann, indem man z. B. Räder anbringt, welche auf Federn wirken, oder Gewichte benutzt, welche von der bewegenden Kraft ſchwebend erhalten werden. Eben ſo ſei nur beiläufig bemerkt, daß man auch aus dem Drucke, welchen die Wellzapfen auszuhalten haben, auf die Größe der Kraft bei drehender Bewegung ſchließen kann.

Prony's Brems-Dynamometer oder Prony's Zaum beruht

darauf, die lebendige Kraft einer ſich drehenden Welle durch Reibung zu compenſiren und das Moment dieſer Reibung zu beſtimmen *). Der weſentlichſte Theil beſteht in zwei halbkreisförmig ausgeſchnittenen Sätteln c d und e f, welche bei

einer eiſernen Welle ganz von Holz, bei einer hölzernen zwar auch von Holz, aber in der Höhlung mit Eiſenblech belegt ſind. Es paſſen dieſe Sättel an einen genau cylindriſch abgedrehten Theil der zu unterſuchenden Welle. Der obere Sattel e f befindet ſich an dem Balken a b, der untere c d ruht auf einem aus mehreren auf einander gelegten Schienen gebildeten Balken h und wird durch die Schraubenbolzen k l und m n gehalten. Durch Anziehen der Schrauben können beide Sättel gegen die ſich drehende Welle ſtark angedrückt werden. Bei b iſt an dem Balken eine Wagſchale mit Gewichten p. Soll nun die Kraft der Welle bei einer beſtimmten Winkelgeſchwindigkeit oder Umdrehungszahl ermittelt werden, ſo zieht man die Schrauben k l und m n ſo ſtark an und legt ſo viel Gewichte auf die Wagſchale, daß erſtens die Welle die erforderliche Geſchwindigkeit erhält, aber zweitens auch der Balken a b ohne alle weitere Unterſtützung, als durch die Reibung in den Sätteln, horizontal liegt. Offenbar wird dann die ganze Arbeit der Welle von der Reibung zwiſchen den Sätteln und der Welle aufgezehrt, wenn die Welle ſich in der in der Figur angegebenen Richtung dreht.

Weil wegen der ſich nicht immer gleich bleibenden Kraft der Balken in Schwankungen geräth, ſo ſucht man dieſe durch unter die Balkenenden geſetzte Böcke R und S auf einen kleinen Spielraum zu beſchränken; auch bedient man ſich, wenn es die Räumlichkeit bedingt, wohl nur e i n e s Bockes S und befeſtigt neben dieſem ein um den Balken gehendes Tau, welches dem Balken nur ein geringes Aufwärtsſchnellen geſtattet.

Da die in der Umdrehungsrichtung wirkende Reibung das Gleichgewicht bedingt, ſo kommt es nur darauf an, dieſe Reibung aus dem auf der Welle liegenden Gewichte zu beſtimmen. Macht die Welle in einer Minute N Umdrehungen, ſo iſt die Winkelgeſchwindigkeit derſelben $= 2r\pi \cdot \frac{N}{60} = \frac{N \cdot r\pi}{30}$, wenn r der Radius der Welle iſt. Bezeichnen wir nun die Entfernung des Punktes q, welcher vertical über dem Mittelpunkte der Welle liegt, von dem Aufhängungspunkte der Wagſchale mit L, und iſt das in der Wagſchale liegende Gewicht $= p$, während eine Kraft p' in dem Aufhängungspunkte der Wagſchale erforderlich ſein mag, um den bei q auf einer Schneide unterſtützten, nicht mit Gewichten beſchwerten Balken horizontal zu erhalten; ſo iſt das bei q wirkſame Moment $L(q + p')$, und folglich iſt die mechaniſche Arbeit der Welle.

$$= \frac{N \cdot r \cdot \pi}{30} \cdot \frac{L(p + p')}{r} = \frac{L \cdot N \cdot \pi}{30} \cdot (p + p').$$

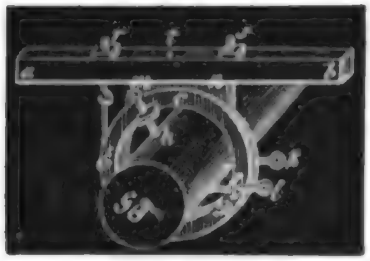
Ein Uebelſtand iſt bei dem P r o n y 'ſchen Apparate, daß für jede andere Welle auch andere Sättel gearbeitet werden müſſen. Dies hat E g e n durch eine

*) Ann. de Chim. et de Phys. T. XIX. p. 165.

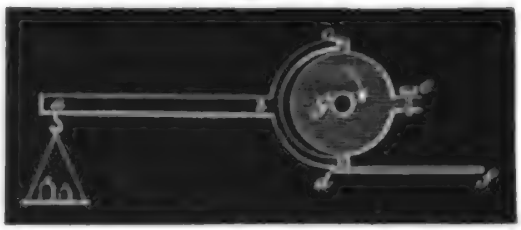
Vorrichtung verbeſſert, welche für Wellen von ſehr verſchiedenem Durchmeſſer brauchbar iſt, überdies unter der Welle keinen großen Raum beanſprucht, an dem es oft gebricht.

An der Welle G Fig. I. wird ein gußeiſerner Bremsring C D E durch drei Schraubenpaare, wie k und l, die an dem Ringe in gleichen Abſtänden angebracht ſind, feſtgeſchraubt. Es paßt dieſer Ring auf ſehr verſchiedene Wellen, wenn ſie überhaupt nur in denſelben hinein gehen. Der Ring iſt auf ſeiner Außenſeite rinnenförmig ausgearbeitet, und an denſelben legt ſich oben der Sattel m n. Den

I.



II.



unteren Sattel vertritt ein eiſernes Band, welches in dem rinnenförmigen Rande liegt und durch die Schrauben bei r und s an dem Balken a b in erforderlicher Weiſe angezogen werden kann. Bei t iſt eine durch den Balken a b und den Sattel m n gehende Oeffnung, durch welche Oel oder Waſſer auf den Ring gebracht werden kann, um die zu große Erhitzung in Folge der Reibung zu verhindern. Es iſt zweckmäßig die Oeffnung t oben am Balken ſo groß zu machen, daß in derſelben ein Trichter angebracht werden kann. Durch einen Stöpſel verſchließt man das Trichterrohr und kann ſo durch Herausziehen deſſelben ſofort Oel auf den Ring fließen laſſen, wenn der Trichter ſchon im Voraus gefüllt war.

Noch einfacher iſt das Brems-Dynamometer von Armſtrong, welches nur aus einem eiſernen Ringe beſteht, welcher durch eine Schraube e ſo angezogen wird, daß er an der Welle g ſtark anſchließt. Mit dem Ringe iſt der Balken a b durch die beiden Gabelarme b c und b d in Verbindung, welche in zwei an dem Ringe angebrachte Naſen eingreifen. Um den Balken beſſer regieren zu können, bringt man übrigens an dem unteren Gabelarme noch eine Verlängerung d f an *).

3. Dynamometer zur Beſtimmung der abſoluten Feſtigkeit.

Um die abſolute Feſtigkeit ſtärkerer Körper, z. B. von Eiſenſtangen, Holzbalken, Metalldrähten, Seilen ꝛc. zu beſtimmen, bedarf man keines beſonderen Apparates, ſondern man bringt den zu unterſuchenden Körper einfach in eine verticale Lage, befeſtigt ihn am oberen Ende auf irgend eine Weiſe und belaſtet ihn am unteren Ende mit Gewichten. Auf dieſe Weiſe ſind die im Art. Feſtigkeit angeführten Reſultate im Allgemeinen gewonnen. Bei Körpern von geringen Dimenſionen und geringerer Feſtigkeit könnte man zwar auf gleiche Weiſe ver-

*) Wegen der Literatur der Dynamometer vergl. Allgemeine Maſchinenencyklopädie. Artikel Bremsdynamometer. Wir verweiſen überdies noch auf Dingler's polytechniſches Journal. Bd. LXXXVIII. und XCII.

fahren, auch würden ſich die oben angeführten kleinen Dynamometer von Regnier und Freſez brauchbar erweiſen; indeſſen hat man doch noch für beſtimmte Stoffe, z. B. zur Beſtimmung der Stärke der Schafwolle, der Garnfäden und dergleichen beſondere Apparate conſtruirt und von dieſen ſollen in dem Folgenden einige noch kurz beſchrieben werden.

Das Mitoſtenometer von Catlinetti in Mailand iſt ein Dynamometer mit ſchraubenförmiger Feder zur Prüfung der Feſtigkeit von Garnfäden. An einer kleinen, drehbaren und mit einem Sperr-Rade verſehenen Welle wird der zu prüfende Faden mit ſeinem unteren Ende befeſtigt, mit dem oberen aber an einem Haken, welcher mit der Feder in Verbindung ſteht. Wird die Welle gedreht, ſo ſpannt ſich der Faden und hierdurch wird die Feder zuſammengedrückt, bis der Faden zerreißt. Ein Zeiger, welcher durch die Feder vorwärts geſchoben wird, bleibt dann auf der Stelle ſtehen, bei welcher das Zerreißen eintrat.

Zur Prüfung der Schafwolle hat Regnier ein Inſtrument angegeben, welches aus einem etwa $3^1/_2$ Zoll breiten und $5^1/_2$ Zoll langen, ſchwarz angeſtrichenen Brettchen beſteht, an welchem ſich zwei parallele, aus Meſſingdraht verfertigte, einarmige Hebel befinden, von denen der eine am vorderen Ende in eine Zeigerſpitze ausläuft, am hinteren aber mittelſt einer geraden dünnen Blechfeder bewegt werden kann, während das hintere Ende des anderen ſich um einen dünnen Zapfen dreht. In das Brettchen iſt ein in 50 Grade getheilter Bogen eingelaſſen, längs deſſen ſich beide Hebel bewegen. An den freien Enden ſind die Hebel mit kleinen Schraubenzangen zum Einſpannen eines Wollhaares verſehen. Die Hebelenden ſind etwa 3 Zoll weit von einander und ſo lang iſt alſo auch der eingeſpannte Faden. Zieht man nun den um den Zapfen drehbaren Hebel an, ſo wird der Faden, da der andere Hebel wegen der an ihm angebrachten Feder nicht ungehindert folgen kann, geſpannt, bis endlich der Faden zerreißt. In dieſem Augenblicke merkt man ſich die Stelle des Zeigers an der Scala und erhält hierdurch wenigſtens einen relativen Anhalt über die Stärke der geprüften Haare.

Die Unſicherheit, welche hier dadurch bedingt wird, daß der Faden nicht immer genau von derſelben Länge und derſelben Spannung iſt, hat Fr. Voigtländer in einem beſonderen Inſtrumente umgangen, indem er den Faden mit dem einen Ende einklemmt, an dem anderen Ende ihn durch ein Zängelchen beſchwert, wodurch eine beſtimmte Spannung erhalten wird, und dann den ſo geſpannten Faden an einer Welle feſtklemmt, ſo daß zwiſchen den beiden Einklemmungen ſtets eine beſtimmte Fadenlänge enthalten iſt (von etwa $^1/_2$ Zoll). Die Welle wird hierauf gedreht, bis der Faden zerreißt und aus der Eintheilung an dem Schraubenkopfe, welcher an der Welle angebracht iſt und die Größe der Drehung angiebt, erkennt man die relative Stärke der abſoluten Feſtigkeit der geprüften Fäden. Ein feiner, einfacher Flachsfaden zerriß bei einer Drehung von 2 Graden, ein einfacher Seidenfaden zeigte 8 bis 10, Schafwolle 12 bis 25, ein Menſchenhaar 19 bis 25 Grad *). H. E.

Krahn, Kranich, ſ. Räderwerk.

Kranz, ſ. Hof.

---

*) Zeichnungen des Inſtruments in der wirklichen Größe finden ſich im Aufriſſe, Seiten-Aufriſſe und Grundriſſe in Prechtl's Technologiſcher Encyklopädie. Bd. IV. Art. Dynamometer. Taf. 70. Fig. 22—24.

Krater, ſ. Vulkan.

Kreuzhaspel, ſ. Rad an der Welle.

Kryophor, ſ. Verdunſtung.

Kryſtall (v. d. griech. κρύος, Eis; κρύσταλλος, alles durchſichtig Erſtarrte) heißen die von ebenen Flächen regelmäßig begrenzten und auch in ihrem innern Gefüge Regelmäßigkeit zeigenden, natürlich vorkommenden Mineralkörper.

Während im Thier- und Pflanzenreiche einzelne Individuen vorkommen, welche je nach der Gattung, zu welcher ſie gehören, eigenthümliche Geſtalt und innere Regelmäßigkeit des Baues beſitzen, ſcheint auf den erſten Anblick das ganze Gebiet der Mineralien ohne ſolche beſtimmte, die einzelnen Arten in Individuen charakteriſirende Geſtaltungen. Genauere Nachſuchungen und Beobachtungen haben indeſſen gelehrt, daß den Mineralien, welche nicht ſchon bei ihrer Entſtehung in freier Ausbildung gehemmt, oder nachher durch Verwitterung oder mechaniſche Zerſtörung umgeſtaltet wurden, ebenfalls beſtimmte, die Art (Gattung, Geſchlecht) ausdrückende und einzelne Individuen bildende Geſtalten natürlich ſind. Höchſt lehrreich ſind in dieſer Beziehung namentlich die Erfahrungen der Chemie. Hier wird durch die Kunſt den anorganiſchen Stoffen eine Freiheit der Bildung verſchafft, welche ſie in der Natur nicht haben, und ſo können wir denn gleichſam vor unſeren Augen die meiſten — einfachen ſowohl, als zuſammengeſetzten — Stoffe, wenn ſie zu feſten Körpern erſtarren, als Individuen ſich bilden ſehen, welche eine ihre beſtimmte Art charakteriſirende Bildung haben.

Die Individuen der Mineralwelt unterſcheiden ſich aber von den Individuen der beiden organiſchen Reiche weſentlich dadurch, daß, während die Umgrenzungen dieſer nur durch krumme, rundliche Flächen gebildet werden, bei den Kryſtallen allgemein Ebenen, und da ſich die Ebenen, um einen einzelnen Körper zu umgrenzen, ſchneiden müſſen, gerade Linien und Ecken die Begrenzungen bilden. Auch das Innere der organiſchen Individuen iſt mit dem herrſchenden Charakter der Rundung aller einzelnen Theile conſtruirt, während das Innere der Mineralindividuen eben ſo wie das Aeußere derſelben eine nach Ebenen gehende Conſtruction hat. Es giebt unzählige Arten der gerundeten Flächen, während es nur Eine Art der Ebenen giebt, und ſo iſt es nothwendig, daß die Kryſtalle eine bei weitem größere Einfachheit und Regelmäßigkeit zeigen, als die organiſchen Individuen. Daher kommt es, daß, während bei jedem einzelnen Individuum der Thier- und Pflanzenwelt jedes Organ wiederum den Charakter der Individualität trägt, d. h. beſonders geſtaltet iſt, an die Stelle dieſer Mannichfaltigkeit bei den Kryſtallen eine gleichförmige und einförmige Geſtaltung tritt. So müſſen wir ein organiſches Individuum als das Ganze ſeiner einzelnen verſchieden geſtalteten Theile anſehen, ein anorganiſches Individuum (Kryſtall) dagegen als ein Ganzes unzähliger Theile, welche dieſelbe Geſtaltung beſitzen, wie das Ganze. Hiermit hängt zuſammen, daß die Maſſe, aus welcher die einzelnen Organe der organiſchen Individuen beſtehen, ſelbſt verſchieden erſcheint, während dagegen in den Kryſtallen eine durchgehende Gleichartigkeit der Maſſe herrſcht. Aus allem dieſem folgt, daß die Kryſtalle zu den Naturerſcheinungen gehören, in denen ſich die Herrſchaft eines ſtrengen Geſetzes auf das Entſchiedenſte geltend macht. Es iſt hier wie mit den Naturkräften, welche in ihrem unabläſſigen Walten die Weltkörper eines Sonnenſyſtems im Gleichgewichte und ungeſtörten Kreislaufe erhalten; in gleicher Weiſe formen ſie hier die Materie im kleinſten Raum ſymmetriſch zu den

regelmäßigſten Gebilden, die von ſcharfen Kanten und ſpiegelglatten Flächen begrenzt ſind.

Der Anblick der Kryſtalle drängt unwillkürlich zu der Frage, wie ſie entſtanden, wie ſie gerade in dieſer Form aus einer anderen hervorgegangen ſein mögen? Ob etwa durch Aneinanderreihung kleinſter atomartiger Partikeln von beſtimmter Geſtalt, oder allmäliges Ablagern des feſtwerdenden Stoffes nach verſchiedenen Richtungen, und wie in dieſem Falle die Mannichfaltigkeit der abgeleiteten Kryſtallformen zu Stande komme? An dieſer Stelle müſſen wir hierüber auf den Art. Materie verweiſen und uns jetzt damit begnügen, die Thatſachen zuſammenzuſtellen, welche Beobachtungen über Kryſtallbildung ergeben haben. Vorher bemerken wir indeſſen noch im Allgemeinen, daß Kryſtalliſirbarkeit das den Mineralien zukommende Vermögen bezeichnet, individuelle, geſetzmäßige Geſtaltung anzunehmen, und Kryſtalliſirung das Vorſichgehen dieſer geſetzmäßigen Geſtaltung. Es iſt noch nicht entſchieden, ob allen unorganiſchen Stoffen und Körpern Kryſtalliſirbarkeit zukomme, obſchon dies der Analogie nach zu vermuthen iſt. Die Kryſtalliſirung zu beobachten haben wir meiſt nur dann Gelegenheit, wenn wir ſelbſt dieſelbe veranlaſſen, nicht in der Natur; doch da auch in dieſer Kryſtalle vorkommen, ſo iſt anzunehmen, daß ihre Bildung unter ähnlichen Bedingungen vor ſich gegangen iſt, wie da, wo wir ſelbſt die Kryſtallbildung veranlaſſen. Dies wird auch durch die wenigen Beobachtungen beſtätigt, die wir über die Kryſtallbildung in der Natur, namentlich des Eiſes *) haben anſtellen können.

A. Kryſtallbildung (Kryſtallogenie).

Damit Kryſtallbildung erfolgen könne, muß die Subſtanz in tropfbarflüſſigem oder ausdehnſamflüſſigem Aggregationszuſtande gegeben ſein. Dieſes iſt der Fall, ſowohl wenn der Stoff für ſich durch Wärme in einen dieſer Zuſtände verſetzt iſt, als auch wenn er in Verbindung mit einem anderen Stoffe als tropfbar oder ausdehnſam flüſſig erſcheint, z. B. aufgelöſt in Waſſer, Weingeiſt ꝛc. Beim Uebergange aus dem flüſſigen in den feſten Zuſtand, alſo entweder durch Entziehung der Wärme oder des Stoffes, welcher den flüſſigen Zuſtand bedingte, tritt die Kryſtalliſirung ein. Schwefel, Jod, Kampher, Benzoëſäure kryſtalliſiren aus dem Zuſtande des Geſchmolzenſeins und des Dampfes, viele Metalle nach dem Zuſtande des Geſchmolzenſeins, Salmiak nach dem des Dampfes, ſobald eine hinreichende Erkaltung eintritt. Hat man den Stoff, z. B. Schwefel, Spießglanz, Wismuth, geſchmolzen und läßt ihn dann erſtarren, ſo muß man, um deutliche Kryſtalle zu erhalten, nur etwa die Hälfte der Maſſe erſtarren laſſen, und nachdem ſich (weil Erkaltung und Erſtarrung von der Oberfläche beginnt) eine Kryſtallrinde gebildet hat, dieſe durchſtoßen und den noch flüſſigen Theil abgießen. Ohne dies würde die geſchmolzene Maſſe nach der Erſtarrung ein Ganzes bilden, in welchem ſich die einzelnen Kryſtalle ſchwer unterſcheiden ließen. In (unter Einfluß der Wärme) gebildeten Löſungen verſchiedener Stoffe, z. B. der Benzoëſäure, des Kamphers ꝛc. in Weingeiſt, anderer in Waſſer, treten bei der Erkaltung der Flüſſigkeit die ge-

*) Vergl. Art. Eis. Bd. II. S. 602.

löſten Stoffe als Kryſtalle heraus, wenn ſie bei minderer Temperatur von dem Löſungsmittel nicht mehr gelöſt erhalten werden können.

Aehnlich wie im Artikel Eis (Bd. II. S. 600) von dieſem erzählt worden, tritt auch bei anderen Subſtanzen, welche durch Erkaltung aus dem flüſſigen Zuſtande in den feſten unter Kryſtallbildung übergehen, die Erſcheinung auf, daß man ſie unter gewiſſen Bedingungen unter denjenigen Temperaturgrad erkalten kann, bei welchem ſie gewöhnlich zu erſtarren pflegen, oder bei welchem ſie durch Temperaturerhöhung aus dem feſten Aggregatzuſtande in den flüſſigen übergehen würden. Dieſe Bedingungen ſind vollkommene Ruhe und Verſchluß der Gefäße, in welchen die Erkaltung erfolgt. Erſchütterung, Oeffnung des Gefäßes, Berührung mit einem kryſtalliniſchen oder nur mit irgend einem feſten ſpitzen Körper bewirkt dann aber augenblickliche Kryſtallbildung. Zugleich erhebt ſich dann die Temperatur der Flüſſigkeit bis zu dem Grade, bei welchem das Flüſſigwerden des feſten Körpers erfolgen würde, alſo bis zu der Schmelztemperatur. Aehnlich wie das Eis verhält ſich in dieſer Beziehung z. B. höchſt concentrirte Eſſigſäure. In offenen Gefäßen erſtarrt dieſe ſchon bei + 13° C.; in verſchloſſenen dagegen kann man ſie bis zu 12° C. erkalten, ohne daß ein Feſtwerden erfolgte. Wird aber jetzt das Gefäß geöffnet und erſchüttert, ſo kryſtalliſirt die Eſſigſäure ſogleich und zwar geſchieht dieſe Kryſtallbildung von oben nach unten, auch dann, wenn die in das Gefäß eintretende Luft wärmer iſt als die Flüſſigkeit. Eine Menge Stoffe verhalten ſich ähnlich, z. B. Aniſöl, namentlich viele Salze, wenn ſie in warmem Waſſer aufgelöſt ſind, z. B. ſchwefelſaures und eſſigſaures Natron; eine große Anzahl aber erſtarrt auch in geſchloſſenen Gefäßen und bei vollkommener Ruhe alsbald, wenn eine hinreichende Temperaturerniedrigung ſtattgefunden hat, z. B. Salmiak, Kochſalz u. a.

Im Allgemeinen wird bei Flüſſigkeiten, die unter den Temperaturgrad erkaltet werden können, bei welchem in der Regel Kryſtallbildung eintritt, die letztere herbeigeführt: a) durch Oeffnung des Gefäßes und dadurch veranlaßten Zutritt der äußeren Luft; b) durch Bewegung, beſonders wenn die Erkaltung in einem offenen Gefäße geſchah, wiewohl auch in verſchloſſenen Gefäßen Kryſtallbildung durch Schütteln des Gefäßes veranlaßt werden kann, z. B. bei einer Löſung des ſalzſauren Kalkes in warmem Waſſer; c) durch Berührung mit einem feſten Körper, wobei indeſſen zu beachten iſt, daß dieſe feſten Körper mit der heißen Flüſſigkeit nicht zugleich erkalten dürfen, und daß ſie naß oder vorher erwärmt in die Flüſſigkeit gebracht ebenfalls die Kryſtallbildung nicht bewirken. Bei dieſem merkwürdigen Verhalten verdient auch ein von Lowitz *) beobachteter Fall Erwähnung, nämlich daß aus einer heiß bereiteten Auflöſung von Salpeter und Glauberſalz ein Salpeterkryſtall nur das Anſchießen (Bilden von Kryſtallen) von Salpeter, ein Glauberſalzkryſtall nur das Anſchießen von Glauberſalz bewirkt, während aus der ſich ſelbſt überlaſſenen Auflöſung beide Salze durch einander kryſtalliſiren.

Jedes Löſungsmittel kann bei einer gewiſſen Temperatur nur eine beſtimmte Quantität eines Stoffes aufnehmen, und heißt, nach Aufnahme dieſer Quantität, von dem Stoffe geſättigt (vergl. Art. Auflöſung und Löſung). Nach Sättigung mit einem Stoffe kann es jedoch noch einen zweiten, dritten ꝛc. Stoff

*) Crell's Ann. 1790. Bd. I. S. 209.

— von jedem eine beſtimmte Quantität — aufnehmen. Mit der Temperatur nimmt im Allgemeinen die Löslichkeit zu, oft nur bis zu einem gewiſſen Grade. Aus der erkaltenden Flüſſigkeit kryſtalliſirt nun nur diejenige Quantität des aufgenommenen Stoffes heraus, welche das Löſungsmittel bei der herabgegangenen Temperatur weniger als bei der vorher höheren zu löſen vermag. Wenn man z. B. kochend heißes Waſſer auf zerſtoßenen Salpeter gießt, das Gemenge ſo lange umrührt, als noch Salpeter aufgelöſt wird, ſodann die Löſung abgießt und bei völliger Ruhe langſam erkalten läßt, ſo kryſtalliſirt daraus derjenige Antheil des Salpeters, welcher das kochendheiße Waſſer mehr als das abgekühlte aufgelöſt enthalten kann. Die concentrirte Löſung, aus welcher man Kryſtalle gewinnen will, bringt man bei Verſuchen im Kleinen in Porzellanſchalen oder Geſchirre aus Steingut, im Großen bedient man ſich zwar auch der Gerätſchaften aus Steingut, häufiger aber hölzerner Faſſer oder Bottiche, welche wegen des in ihnen erfolgenden Wachſens der Kryſtalle Wachsfäſſer heißen (z. B. bei der Alaunfabrikation), ferner ſind auch kupferne Behälter in Gebrauch, z. B. bei der Bereitung des Kandiszuckers.

Im Gegenſatze zu der eben angegebenen Kryſtallbildung durch Erkältung ſteht die Kryſtallbildung durch Erhitzung. Es beruht dieſe Methode darauf, daß durch Verdampfung eines Theiles des Löſungsmittels die noch vorhandene verringerte Flüſſigkeit nicht mehr im Stande iſt, den aufgelöſten Stoff in ſeiner ganzen Menge aufgelöſt zu erhalten. Auf dieſe Weiſe gewinnt man z. B. das kryſtalliſirte Kochſalz aus ſeiner Auflöſung in Waſſer, indem man dies durch Wärme in Dampf verwandelt und ſo forttreibt. Es kommt in dieſem Falle beſonders darauf an, daß nicht zu wenig, aber auch nicht zu viel von dem Waſſer durch das Abdampfen fortgetrieben wird. Iſt das Erſtere der Fall, ſo ſchießen die Kryſtalle nur in geringer Menge und langſam an; hat das Andere ſtattgefunden, ſo erfolgt das Feſtwerden zu ſchnell und die Kryſtalle können ſich nicht gehörig ausbilden, ſo daß vielmehr eine compacte Maſſe von nur kryſtalliniſchem Gefüge gewonnen wird. Um ſich von der richtigen Concentration der Löſung zu überzeugen, bringt man daher einige Tropfen der heißen Löſung auf eine Glastafel oder eine Porzellanſchale und ſieht zu, ob die Kryſtallbildung in rechter Weiſe erfolgt, was man an dem Anſchießen kleiner Kryſtalle bemerkt, während ein ſchnelles Erſtarren der Tropfen ein Zeichen iſt, daß bereits zuviel von dem Löſungsmittel verdampft war. In einigen Fällen, z. B. beim Kochen der geklärten Zuckerauflöſung, bedient man ſich auch des Thermometers, um den richtigen Concentrationspunkt zu ermitteln, da man aus dem Siedepunkte auf den Grad der Dichtigkeit und mithin auch auf die Menge des aufgelöſten Stoffes ſchließen kann. Iſt der aufgelöſte Stoff nicht hygroſkopiſch, ſo erkennt man auch die rechte Concentration an der Bildung eines dünnen Häutchens auf der Oberfläche der Auflöſung, welches man Salz- oder Kryſtallhäutchen nennt.

Es verſteht ſich von ſelbſt, daß bei einem Auflöſungsmittel, welches zu ſeiner Verflüchtigung keiner hohen Temperatur bedarf, auch ſchon bei gewöhnlicher Temperatur die nöthige Concentration eintreten kann. Es iſt dies der Fall bei mehreren in Weingeiſt aufgelöſten Harzen. Auch kann die Verdunſtung dadurch befördert werden, daß man über der Löſung einen luftverdünnten Raum erzeugt. Endlich iſt noch zu erwähnen, daß auch dann Kryſtalliſation ſtattfindet, wenn das Löſungsmittel mit einem anderen Stoffe gemengt wird, der ſich mit ihm zu einer Flüſſig-

keit verbindet, in welcher der zu kryſtalliſirende Stoff nur wenig oder gar nicht aufgelöſt wird. Salpeter und Kupferſalmiak z. B. kryſtalliſiren auf dieſe Weiſe aus der wäſſerigen Löſung, wenn man Weingeiſt in dieſelbe bringt, und Kampher aus der weingeiſtigen Löſung durch Zuſatz von Waſſer.

Die Kryſtalle werden deſto größer und deſto vollkommener, je langſamer die Zurückführung eines Stoffes aus dem flüſſigen in den feſten Zuſtand geſchieht. Man muß deshalb bei der Kryſtallbildung durch Erkältung dieſe nur allmälig eintreten und bei der Kryſtallbildung durch Entziehung der Löſungsmittel dieſe nur nach und nach vor ſich gehen laſſen. Geſchieht die Erkaltung zu ſchnell, ſo erhält man, wie bei zu ſtarker Concentration durch Abdampfen (ſ. oben) in größerer Menge kleine unanſehnliche und unvollkommene Kryſtalle. Die Bildung der Kryſtalle geſchieht — wie aus dem Vorhergehenden nothwendig folgt — zumeiſt und zuerſt an der Oberfläche der Flüſſigkeit, weil hier die Entziehung der Wärme und des Löſungsmittels zunächſt erfolgt, und an der inneren Oberfläche des Gefäßes, weil durch die Wandungen deſſelben nächſt der Oberfläche der Flüſſigkeit früher die Temperaturveränderung eintritt, als in der Mitte der Flüſſigkeit und weil die Kryſtalle hier ſich an feſten Theilen (des Gefäßes) anſetzen. Auch auf von außen in die Flüſſigkeit gebrachte feſte Körper legen ſich die Kryſtalle an, z. B. an hölzerne Stäbe, die man entweder in dem Boden oder in den Dauben der Wachsfäſſer einſteckt, oder an beſondern Geſtellen von oben in die Flüſſigkeit hineinhängt, z. B. bei der Fabrikation des Alauns, des Kupfervitriols, des blauſauren Kalis ꝛc. Auch Zwirnfäden werden in der Löſung ausgeſpannt, z. B. bei der Gewinnung des Kandiszuckers. Daß hierbei der Grad der Adhäſion von Einfluß iſt, ſieht man daraus, daß ſich z. B. aus ihren wäſſerigen Auflöſungen kryſtalliſirende Salze ſchwieriger an die Wände gläſerner als porzellanener Gefäße anſetzen und gar nicht an mit Fett überzogene Wände.

Aus dem Geſagten wird erklärlich, warum man beim Zuckerſieden, wo eine ſchnelle und körnige Kryſtalliſation der eingekochten Zuckerauflöſung bezweckt wird, ſobald dieſelbe in die Zuckerform hineingegoſſen iſt, ſie ſtark und oft umzurühren pflegt, dagegen, wenn der Zucker in deutlichen Kryſtallen anſchießen ſoll, wie beim Kandiszucker, die Zuckerauflöſung weniger ſtark einkochen und dann auf ſehr warmen Stellen ſtehen läßt, wo das Waſſer allmälig verdunſtet und der Zucker aus ſeiner Auflöſung langſam anſchießt.

Die Flüſſigkeit, aus welcher die Kryſtalle ſich herausbilden, und von der ſie daher umgeben ſcheinen, wenn ſie nicht durch Abdampfung völlig entfernt wird, heißt die *Mutterlauge*, und dieſe iſt folglich diejenige Flüſſigkeit, in welcher der nunmehr kryſtalliſirte Stoff aufgelöſt war. Sie enthält nach Maßgabe der Temperatur und ihrer Menge noch einen Theil der kryſtalliſirten Subſtanz aufgelöſt, ſo wie auch noch ſolche Stoffe, welche minder leicht kryſtalliſirbar und in ihr aufgelöſt ſind. Iſt die Mutterlauge frei von fremden Subſtanzen, ſo erhält man aus ihr bei wiederholtem Abdampfen wohl nochmals Kryſtalle, die indeſſen nicht ſo ſchön, wie die erſten auszufallen pflegen.

Namentlich wenn die Kryſtalliſirung ſchnell vor ſich geht, pflegen von der Mutterlauge kleine Partien in das Innere der Kryſtalle einzutreten und hier eingeſchloſſen zu werden. Dieſe Flüſſigkeit iſt alsdann blos *mechaniſch eingemengt*. Erhitzt man nachher ſolche Kryſtalle und ſchmelzen dieſelben nicht bei einem Temperaturgrade, der niedriger als der Siedepunkt der eingeſchloſſenen

Flüſſigkeit liegt, ſo verwandelt ſich dieſe im Innern des Kryſtalles in Dampf und erlangt bald eine ſo große Spannkraft, daß die Kryſtalle von ihr zerſprengt werden (zerknistern, decrepitiren). Dies Austreiben der eingeſchloſſenen Flüſſigkeit nennt man, da es mit einem Kniſtern verbunden iſt, abknistern und die eingeſchloſſene Flüſſigkeit ſelbſt Zerknisterungswaſſer. Mit dieſem nicht zu verwechſeln iſt das Kryſtallwaſſer: eine Quantität Waſſer aus der flüſſigen Löſung, welche manche Subſtanzen beim Kryſtalliſiren chemiſch in ſich aufnehmen. Dieſes Kryſtallwaſſer ſteht bei gleichbleibender Kryſtallform zu der kryſtalliſirenden Subſtanz in einem ſtets gleichbleibenden Verhältniſſe, während dies mit dem Zerkniſterungswaſſer durchaus nicht der Fall iſt. In den gewöhnlichen Kryſtallformen enthalten z. B. Glauberſalz 56, Borax 47,1, kohlenſaures Natron 62,75 Proc. Kryſtallwaſſer; beträgt aber beim Glauberſalze oder kohlenſauren Natron die gebundene Waſſermenge nur $^4/_5$ der eben angegebenen, und beim Borax die Hälfte, ſo treten dieſelben in ganz anderer Kryſtallform auf.

Manche Kryſtalle, z. B. Alaun, Glauberſalz u. a. enthalten bei gewöhnlicher Temperatur viel Waſſer, andere, z. B. ſchwefelſaures Kali, Kochſalz, Salpeter gar keins. Einige Stoffe kryſtalliſiren theils mit, theils ohne Kryſtallwaſſer, und einige können, wie die bereits angeführten Beiſpiele belegen, verſchiedene Antheile von Waſſer beim Kryſtalliſiren aufnehmen. Dies Letztere tritt ein, wenn man die Auflöſung bei verſchiedenen Temperaturen kryſtalliſiren läßt; manche Salze kryſtalliſiren ſogar bei höherer Temperatur ohne Kryſtallwaſſer, bei niederer aber mit demſelben, z. B. das ſchwefelſaure Natron und das Kochſalz. Jenes kryſtalliſirt bei + 30° C. ohne, bei + 10° mit Kryſtallwaſſer; dieſes nimmt bei gewöhnlicher Temperatur kein Waſſer auf, dagegen bei — 10° einen bedeutenden Theil, den es jedoch, ſelbſt wenn es mit einer Waſſerſchicht bedeckt iſt, bei einer höheren Temperatur, ſogar ſchon bei 0° wieder verliert.

Einige Kryſtalle verlieren in trockener Luft allmälig ihr Kryſtallwaſſer durch allmäliges Verdampfen von der Oberfläche aus, ſo daß ſie endlich gänzlich aus einander fallen; ſie werden dann milchweiß und undurchſichtig und bedecken ſich mit mehlartigem Staube. Man nennt dieſe Erſcheinung das Verwittern, Fatisciren, wofür wir als Beiſpiele Glauberſalz, kohlenſaures, phosphorſaures Natron anführen. Durch Erhitzung ſchmelzen ſolche Kryſtalle anfangs in ihrem Kryſtallwaſſer, trocknen aber dann während der Verdunſtung des Waſſers ein, blähen ſich dabei auf, ſchäumen und werden endlich zu einer ſchwammigen trocknen Maſſe, z. B. Borax, Alaun ꝛc.; dann pflegen ſich dieſelben aber nur langſam wieder in Waſſer aufzulöſen, auch ſchmelzen ſie nachher erſt bei dem zum Schmelzen des waſſerfreien Salzes erforderlichen höheren Hitzegrade. Einige Kryſtalle, z. B. ſalzſaurer Kalk, ſalzſaure Magneſia, ſalzſaures Eiſenoxyd, ſalzſaures Zinnoxydul zerfließen leicht wegen ihrer großen Verwandtſchaft zu dem atmoſphäriſchen Waſſerdunſte.

Wenn man auf ein verwittertes Salz ſo viel Waſſer gießt, als es Kryſtallwaſſer bedarf, ſo verbindet es ſich mit demſelben und wird nach einiger Zeit zu einer harten halbdurchſichtigen Maſſe. Das ſchwefelſaure Natron z. B. enthält 56 Proc. Kryſtallwaſſer; läßt man es verwittern und mengt es dann nach dieſem Verhältniß, alſo nahe 2 Theile Salz mit 3 Th. Waſſer, ſo erhält man nach kurzer Zeit eine feſte Maſſe, wobei ſich die Wärme des feſtwerdenden Waſſers langſam entwickelt. Hierauf gründet ſich z. B. die Anfertigung der Gypsfiguren und Gyps-

Digitized by Google

formen. Man erhitzt nämlich den Gyps ſo, daß er ſein Kryſtallwaſſer verliert, pulvert ihn dann fein, rührt ihn mit Waſſer zu einem Brei und gießt ihn in die Formen, wo er nach einer Weile erkaltet, indem er das Waſſer chemiſch bindet, und die Maſſe lauwarm wird.

Bei der Bildung der Kryſtalle pflegt Wärme entwickelt zu werden und in einigen Fällen, z. B. bei der Sublimation der Benzoëſäure, bei der Kryſtalliſation des einfachen und doppelt ſchwefelſauren Kalis, des flußſauren Natrons, des ſalpeterſauren Strontians, des ſchwefelſauren Kobalts, des Fluornatriums zeigt ſich ſogar Licht *). Die Wärmeentwickelung iſt eine Folge des Umwandelns des bis dahin flüſſigen Körpers in einen feſten, wobei die den Flüſſigkeitszuſtand bedingende latente Wärme frei werden muß. Sie tritt beſonders auffallend in denjenigen Fällen auf, wo nach einer künſtlichen Erkaltung bis unter den Erſtarrungspunkt, durch Erſchütterung und dergleichen, wie oben bereits angeführt wurde, ein ſchnelles Eintreten der Kryſtalliſation herbeigeführt wird, wo dann die Temperatur der Flüſſigkeit ſchnell bis zu der des Erſtarrungspunktes erhöht wird. Bei der Aufnahme von Kryſtallwaſſer verliert auch dieſes ſeinen flüſſigen Zuſtand und läßt daher diejenige Wärme fahren, die es zu Herſtellung ſeines flüſſigen Zuſtandes gebunden hielt.

Ueber die bei der Kryſtallbildung auftretenden Licht- und Elektricitätserſcheinungen iſt ſchon im Art. Elektricität (a. a. O.) die Rede geweſen, wir verweiſen indeſſen noch auf die Art. Licht und Thermoelektricität.

Um die erſte Entſtehung der Kryſtalle zu erforſchen, hat man mehrfach mikroſkopiſche Unterſuchungen angeſtellt, ohne indeſſen bedeutende Aufſchlüſſe gewonnen zu haben. Wir wollen daher nicht bei dem verweilen, was Ehrenberg **), Frankenheim ***) und Tellkampf ****) in dieſer Beziehung gefunden haben, ſondern uns ſogleich zu der fertigen Kryſtallgeſtalt wenden.

B. Kryſtallbeſchreibung (Kryſtallographie).

Die Kryſtalle einer und derſelben Subſtanz ſind, wie in dem Vorhergehenden geſagt wurde, gleichförmig, aber nicht in der Art, daß ſie alle vollkommen gleichgeſtaltet, etwa nur der lineären Ausmeſſung nach verſchieden wären, ſondern ſie haben mannichfaltige Formen, welche ſich jedoch ſämmtlich auf dieſelbe Eine Grundform zurückführen laſſen. Worin näher dieſe Zurückführung beſtehe, kann erſt deutlich gemacht werden, nachdem die Grundformen mit ihren Kennzeichen und Unterſcheidungsmerkmalen vorgeführt worden. Es giebt mehrere beſtimmte (ſpäter näher zu charakteriſirende) Syſteme von Geſtalten, und allgemeine Regel iſt, daß dieſelbe Subſtanz zwar in mehreren Formen, aber nur in Formen ein und deſſelben Syſtems kryſtalliſiren könne.

Es wird nicht überflüſſig ſein, hier zur Verſtändigung in der Kryſtallographie gewiſſe mathematiſche Ausdrücke nach ihrer Bedeutung kurz aufzuführen.

Ein Körper iſt ein von allen Seiten eingeſchloſſener (begrenzter) Theil des Raumes und hat daher 3 Dimenſionen (Abmeſſungen): Länge, Breite, Höhe.

*) Vergl. Art. Elektricität. Bd. II. S. 755. Pogg. Ann. Bd. LII. S. 443 ff.
**) Pogg. Ann. Bd. XXXVI. S. 238.
***) Pogg. Ann. Bd. XXXVII. S. 516, vergl. auch S. 637.
****) Phyſikaliſche Studien. Hannover 1854. S. 35.

Iſt der Körper mit Materie angefüllt, ſo nennt man ihn einen phyſiſchen Körper; ſieht man von einem ſolchen Inhalte ab, wie es im vorliegenden Falle geſchieht, wo wir es nur mit der Geſtalt zu thun haben, ſo nennt man ihn einen mathematiſchen Körper.

Die Körper ſind umgrenzt:

a) von Einer (krummen) Oberfläche (z. B. die Kugel),

b) von Oberflächen und Linien (z. B. der Cylinder),

c) von Flächen, Linien und Punkten (z. B. der Kegel, der Würfel ꝛc.).

Die Kryſtalle gehören nicht zu den unter a und b erwähnten Körpern, ſondern machen nur eine beſondere Klaſſe der unter c erwähnten Körper aus, ſie ſind nämlich:

Körper, die von geraden Flächen (Ebenen), geraden Linien und Punkten begrenzt werden, — geradflächige Körper.

Jede gerade Linie an einem Körper iſt die Durchſchnittslinie zweier Flächen und heißt eine Kante.

Die Kanten an geradflächigen Körpern ſchneiden ſich in Punkten, welche Eckpunkte genannt werden. Die Ecken ſelbſt werden eingeſchloſſen von denjenigen Ebenen, die ſich in den in den Endpunkten zuſammentreffenden geraden Linien ſchneiden.

Zur Bildung einer Ecke ſind wenigſtens drei ſich gegenſeitig ſchneidende Ebenen erforderlich. Nach der Zahl der Ebenen oder der Kanten, welche eine Ecke bilden, wird dieſelbe eine drei-, vier- u. ſ. w. ſeitige oder kantige Ecke genannt. — Eine dreikantige Ecke, deren begrenzende Ebenen ſich unter rechten Winkeln ſchneiden, die alſo von 3 ebenen rechten Winkeln begrenzt iſt, heißt eine rechte; jede Ecke, bei welcher die Summe der ſie begrenzenden ebenen Winkel kleiner als 3 Rechte iſt, heißt eine ſpitze, und jede, bei welcher dieſe Summe mehr als 3 Rechte beträgt, eine ſtumpfe Ecke.

Die Ebenen an den Kryſtallen ſind allſeitig von Kanten begrenzt; es bildet alſo eine jede eine geradlinige ebene Figur.

Zur Bildung einer geradlinigen ebenen Figur ſind wenigſtens drei gerade Linien nöthig.

Jede gerade Linie, welche einen Theil des Umfanges einer Figur ausmacht, heißt eine Seite dieſer Figur.

Die geradlinigen ebenen Figuren theilt man nach der Anzahl ihrer Seiten ein in drei-, vier-, fünfſeitige ꝛc.

Regelmäßig heißt eine geradlinige ebene Figur, wenn alle ihre Seiten gleich lang und alle ihre Winkel gleich groß ſind.

Die dreiſeitige geradlinige ebene Figur heißt ein Dreieck oder Triangel. Die Dreiecke werden eingetheilt:

1) nach den Seiten in:

a) gleichſeitige mit drei gleichen Seiten;

b) gleichſchenkelige mit zwei gleichen Seiten, den Schenkeln des Dreiecks, und einer jenen beiden nicht gleichen Seite, der Grundlinie oder Baſis. Die der Baſis gegenüberliegende Winkelſpitze heißt die Spitze;

c) in ungleichſeitige, in denen keine Seite der anderen gleich iſt;

2) nach den Winkeln in:

a) ſtumpfwinkelige mit Einem ſtumpfen und zwei ſpitzen Winkeln;
b) rechtwinkelige mit Einem rechten und zwei ſpitzen Winkeln. Die beiden den rechten Winkel einſchließenden Seiten heißen Katheten, die demſelben gegenüberliegende Seite Hypotenuſe;
c) ſpitzwinkelige mit drei ſpitzen Winkeln.

Im gleichſeitigen Dreiecke ſind auch alle drei Winkel gleich, folglich ſind dieſe Dreiecke regelmäßig. Im gleichſchenkeligen Dreiecke ſind die beiden an der Baſis liegenden Winkel gleich. Im ungleichſeitigen Dreiecke iſt kein Winkel dem anderen gleich.

Die viereitige geradlinige ebene Figur heißt ein Viereck. Die Vierecke werden eingetheilt nach der Richtung ihrer Seiten in:

1) Parallelogramme, in denen je zwei gegenüberſtehende Seiten gleichlaufend ſind. Dieſe werden wieder unterſchieden in:
a) Quadrate, mit 4 gleich langen Seiten und 4 gleich großen Winkeln;
b) Rechtecke, Rectangeln, Oblonge, mit 4 gleich großen Winkeln, aber nicht durchweg gleich langen Seiten;
c) gleichſeitige Rauten, Rhomben, mit 4 gleich langen Seiten, aber nicht durchweg gleich großen Winkeln;
d) ungleichſeitige Rauten, Rhomboide, mit nicht durchweg gleich langen Seiten und nicht durchweg gleich großen Winkeln.

In den Parallelogrammen ſind je zwei gegenüberſtehende Seiten gleich lang und je zwei gegenüberſtehende Winkel gleich groß, folglich iſt das Quadrat das regelmäßige Viereck. Im Quadrate und Rechtecke beträgt jeder Winkel einen Rechten.

2) Klinogramme, in denen nicht je zwei gegenüberſtehende Seiten gleichlaufend ſind. Dieſe werden wieder unterſchieden in:
a) Trapeze, in denen zwei gegenüberſtehende Seiten parallel ſind, die beiden anderen aber nicht.
b) Trapezoide, in denen keine Seite einer anderen parallel iſt.

Jede gerade Linie, welche zwei Winkelſpitzen einer geradlinigen ebenen Figur verbindet, ohne mit einer Seite zuſammen zu fallen, heißt eine Diagonale derſelben. Das Dreieck hat keine Diagonale. Das Viereck hat zwei Diagonalen, die ſich bei dem Parallelogramm gegenſeitig halbiren, bei dem Quadrate und Rhombus ſich unter rechten Winkeln ſchneiden und bei dem Quadrate und Rechtecke unter einander gleich ſind.

Der Neigungswinkel oder Kantenwinkel zweier Ebenen iſt derjenige Winkel, welchen zwei gerade Linien mit einander bilden, welche in demſelben Punkte auf der Kante, in der ſich beide Ebenen ſchneiden, ſenkrecht ſtehen, und von denen die eine in der einen, die andere in der anderen Ebene liegt.

Zur Meſſung der Neigungswinkel an Kryſtallen bedient man ſich des Goniometers (Winkelmeſſer) *).

Durch die Neigungswinkel je zweier ſich ſchneidenden Flächen, durch die Anzahl und die Geſtalt dieſer Flächen, welche letztere durch die Verhältniſſe ihrer Seiten unter einander und durch die Größe ihrer Winkel beſtimmt iſt, wird die Geſtalt eines geradflächigen Körpers (Kryſtalls) vollkommen beſtimmt.

*) Art. Goniometer. Bd. III. S. 631.

Aus dem im Abſchnitte A über die Kryſtallbildung Mitgetheilten geht hervor, daß die Maſſe eines kryſtalliſirten Körpers vorher in einem *nicht kryſtallini-ſchen* oder *amorphen* Zuſtande ſich befunden hat. In dem amorphen Zuſtande verhält ſich die Maſſe nach allen Seiten hin vollkommen gleich, ſo wie aber die Kryſtalliſation beginnt, offenbart ſich nach verſchiedenen Richtungen hin ein ungleiches Verhalten der auf die Maſſentheilchen einwirkenden Kräfte. Erſtarrt die amorphe Maſſe, ohne daß dieſe Differenz zur Geltung kommt, ſo wird ſie die Kugelgeſtalt annehmen müſſen; wirken aber die anziehenden Kräfte in beſtimmten Richtungen vorherrſchend, ſo muß die Maſſe eine von der Kugel abweichende Geſtaltung annehmen, und dies iſt eben die Kryſtallgeſtalt. Es käme nun darauf an, die Richtungen zu beſtimmen, in welchen die Kräfte vorzugsweiſe ihre Wirkſamkeit geübt haben. Wollte man hierbei combinatoriſch verfahren und unter beſtimmten angenommenen Verhältniſſen die Kryſtallgeſtalt ableiten, ſo würde man auf eine unendliche Reihe ſtoßen; hält man ſich aber an die in der Natur beobachteten Kryſtallgeſtalten, ſo findet man, wenn man das einfachſte Verhältniß als das naturgemäße anſieht, nur eine geringe Anzahl von Fällen, auf die alſo auch nur näher einzugehen iſt.

Um dies an einem beſtimmten Beiſpiele deutlich zu machen, wählen wir den Würfel. Suchen wir die von dem Mittelpunkte ausgehenden Richtungen, zu denen alle zu dem Würfel gehörigen Flächen, Kanten und Ecken eine ſymmetriſche Lage haben; ſo können erſtens *drei* Richtungen angenommen werden nach den Mittelpunkten je zweier gegenüberſtehender Flächen, wobei ſich dann dieſe drei Richtungen im Mittelpunkte unter rechten Winkeln ſchneiden, oder zweitens *vier* Richtungen durch den Mittelpunkt des Würfels nach je zwei gegenüberſtehenden Ecken gehend, von denen je zwei in einer Ebene liegen und zwar ſo, daß dieſe beiden Ebenen ſenkrecht auf einander ſtehen, oder drittens *vier* Richtungen durch den Mittelpunkt des Würfels, die eine nach zwei einander gegenüberliegenden Ecken gehend, die drei anderen die Mittelpunkte der 6 Kanten verbindend, welche nicht zu jenen Ecken gehören, wobei dann die drei letzteren in einer Ebene liegen und unter Winkeln von 60° ſich ſchneiden würden, die erſte aber auf der Ebene dieſer drei Richtungen ſenkrecht ſtände. Von dieſen drei Fällen würde man nun den erſten als den einfachſten und naturgemäßeſten als den einzig wahren aufzufaſſen haben. Verfährt man auf gleiche Weiſe mit den übrigen in der Natur vorkommenden Kryſtallgeſtalten, ſo reduciren ſich dieſelben auf nur wenige Fälle, nach denen man die verſchiedenen *Kryſtallſyſteme* unterſcheidet.

Dieſe Linien, in welchen man die Kräfte, von denen die Kryſtallgeſtalt bedingt war, als wirkſam geweſen annimmt, heißen *Aren*. Die vor den anderen am meiſten ſich auszeichnende wird als *Hauptare* angenommen und die anderen nennt man *Neben-* oder *Queraren*. Bei der Beſchreibung eines Kryſtalls denkt man ſich dieſen ſo vor den Beobachter geſtellt, daß ſeine Hauptare ſenkrecht ſteht. Liegen die Endpunkte der Hauptare in den Mitten zweier einander parallelen Flächen, ſo heißen dieſe *Endflächen*; liegen ſie in zwei Ecken, ſo heißen dieſe *Scheitel*; liegen ſie in den Mitten zweier Kanten, ſo heißen ſie *Gipfelkanten*. Das Erſte hat z. B. ſtatt bei dem Würfel, das Zweite bei dem regelmäßigen Octaëder, das Dritte bei dem Tetraëder. Flächen, welche einen Scheitel bilden, werden *Scheitelflächen* genannt, und die zu einem Scheitel gehörigen Kanten *Scheitelkanten*. Die in einer Gipfelkante ſich ſchneidenden Flächen

nennt man Gipfelflächen. Flächen, welche der Hauptaxe parallel ſind, heißen Seitenflächen, ſo wie der Hauptaxe parallele Kanten Seitenkanten genannt werden. Solche Kanten, die mit der Hauptaxe nicht in derſelben Ebene liegen, heißen Randkanten. Mehrere Randkanten ſchließen ſich den Kryſtall umringend an einander. Die in die Randkanten fallenden Ecken werden Randecken genannt. Wenn nur eine der Queraxen an beiden Enden in Ecken ausläuft, ſo nennt man dieſe Querſcheitel. Bei manchen Kryſtallen ſchließen ſich an die Endpunkte gewiſſer Seiten- oder gewiſſer Gipfelkanten, zuweilen auch, wenn Seiten- und Gipfelkanten ſich durchſchneiden, an beide zugleich, Ecken an, welche mehr in gleicher horizontaler Lage mit den Endpunkten der Axe ſich befinden, während andere Ecken höhere oder niedrigere Standpunkte haben; jene heißen dann zum Unterſchiede von dieſen Seitenecken. Nebenkanten ſind ſolche, welche Seitenecken und Querſcheitel verbinden. Die Theile der Axen, welche eine beſtimmte Fläche des Kryſtalls von ihnen abſchneidet, oder gehörig verlängert abſchneiden würde, heißen die Parameter der Fläche.

Sämmtliche bis jetzt beobachtete, in der Natur vorkommende Kryſtallgeſtalten laſſen ſich nach Anzahl der Axen in zwei Klaſſen bringen, nämlich in Kryſtalle mit drei Axen, trimetriſche Kryſtalle, und in Kryſtalle mit vier Axen, tetrametriſche Kryſtalle. Nimmt man noch auf die Lage und Größe der Axen Rückſicht, ſo erhält man folgende 6 Kryſtalliſationsſyſteme:

I. Trimetriſche Kryſtalle:

1) die drei Axen ſtehen ſenkrecht auf einander und ſind

a) gleich: das reguläre, oder gleichgliederige, oder ſphäroëdriſche (Weiß), oder iſometriſche (Hausmann), oder teſſerale (Naumann, Breithaupt), oder teſſulariſche (Werner, Mohs, Haidinger), oder vielarige (Naumann) Syſtem; z. B. Würfel;

b) ungleich, aber ſo, daß noch zwei gleich, aber größer oder kleiner als die dritte ſind: das 2- und 1arige oder viergliedrige (Weiß), oder monodimetriſche (Hausmann), oder pyramidale (Mohs, Haidinger), oder tetragonale (Naumann, Breithaupt) Syſtem; z. B. quadratiſches Octaëder.

c) ungleich, ſo daß keine der anderen gleich iſt: das 1- und 1arige, oder zwei- und zweigliederige (Weiß), oder aniſometriſche (Hausmann), oder prismatiſche (Mohs, Haidinger), oder orthotype (Mohs), oder rhombiſche (Naumann, Breithaupt) Syſtem; z. B. gerade rectanguläre Säule;

2) die drei Axen bilden unter einander nicht lauter rechte, ſondern wenigſtens einen ſchiefen Winkel und ſind ungleich:

d) zwei Axen ſtehen ſenkrecht auf einander, die dritte iſt geneigt gegen dieſe: das 2- und 1gliederige, oder dyhenoëdriſche (Weiß), oder monoklinometriſche oder monoklinoëdriſche (Naumann), oder hemirhombiſche (Breithaupt), oder hemiprismatiſche oder hemiorthotype (Mohs) Syſtem; z. B. ſchiefe prismatiſche Säule.

e) keine Axe ſteht ſenkrecht auf der anderen: das 1- und 1gliede-

rige, oder henoëdriſche (Weiß), oder triklinometriſche, oder triklinoëdriſche (Naumann), oder tetartoprismatiſche, oder anorthotype (Mohs), oder trimetriſche (Hausmann), oder tetartorhombiſche (Breithaupt), oder anorthiſche (Haidinger) Syſtem; z. B. ſchiefe rhomboidiſche Säule.

II. Tetrametriſche Kryſtalle:

ſ) drei gleiche Aren liegen in derſelben Ebene und ſchneiden ſich unter Winkeln von 60°, die vierte Are iſt jenen dreien nicht gleich und ſteht in ihrem Durchſchnittspunkte ſenkrecht auf ihnen: das 3- und 1arige, oder ſechsgliederige, oder drei- und dreigliederige (Weiß), oder monotrimetriſche (Hausmann, Naumann), oder rhomboëdriſche (Mohs, Haidinger) oder heragonale (Naumann) Syſtem, z. B. Rhomboëder.

Die in der Natur vorkommenden Kryſtallgeſtalten laſſen ſich alle in eins dieſer Syſteme einordnen, doch ſind dieſelben nicht immer in einer einfachen Form. Die einfachen Formen oder Grundformen nennt man homoëdriſche oder pantoëdriſche oder holoëdriſche im Gegenſatze zu den hemiëdriſchen und tetartoëdriſchen. Die Grundformen erleiden nämlich bisweilen eine eigenthümliche Veränderung, indem entweder die halbe Anzahl ihrer Flächen oder wohl ſelbſt der vierte Theil derſelben ſo groß wird, daß die übrigen ganz aus der Begrenzung verſchwinden. Die hierdurch entſtehenden Formen heißen nun im erſten Falle hemiëdriſche, im anderen tetartoëdriſche.

Es wird nun nöthig ſein die einzelnen Grundformen der ſechs Syſteme nicht nur aufzuführen, ſondern auch näher zu beſchreiben.

Homoëdriſche Formen.

I. 1. a. Reguläres Kryſtalliſationsſyſtem.

Dies Syſtem enthält 7 homoëdriſche Formen, nämlich:

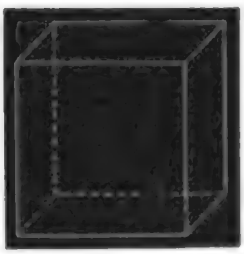
1) Octaëder, 2) Heraëder, 3) Dodecaëder, 4) Ikoſitetraëder, 5) Triakisoctaëder, 6) Tetrakisheraëder und 7) Hexakisoctaëder.

1) Das Octaëder oder der Achtflächner (ſ. nebenſtehende Figur) iſt begrenzt von 8 Flächen, welche unter ſich gleiche gleichſeitige Dreiecke darſtellen, unter Winkeln von 109° 28′ 16″ gegen einander geneigt ſind und ſo durch ihre gegenſeitige Durchſchneidung 12 Kanten bilden, von denen je vier eine der 6 Ecken einſchließen, deren ebene Winkel alle = 60° ſind. Alle Ecken ſind gleich und eben ſo alle Kanten. Die Aren verbinden je zwei gegenüberſtehende Ecken und wegen der Gleichheit der Ecken und Kanten fällt hier die Unterſcheidung in Scheitel- und Randecken, ſo wie in Scheitel- und Randkanten weg. Da jede Fläche alle 3 Aren in gleichen Längen ſchneidet, ſo können wir das Octaëder durch das Parameterzeichen [a : a : a] ausdrücken, wo a die Länge des Parameter angiebt.

Beiſpiele von in dieſer Form vorkommenden Mineralien ſind: Flußſpath, Spinell, Magneteiſenſtein.

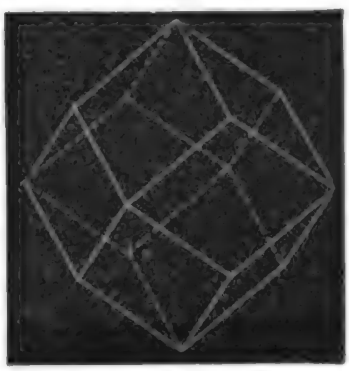
2) Das Hexaëder (der Sechsflächner, Würfel) (ſ. Fig. I.) iſt begrenzt von 6 rechtwinkelig auf einander ſtehenden quadratiſchen Flächen, die 8 dreikantige rechte Ecken einſchließen und ſich in 12 gleichen Kanten ſchneiden. Die Ecken, eben ſo die Kanten ſind alle unter einander gleich. Die drei Aren verbinden die Mittelpunkte je zweier paralleler Flächen, und da jede Fläche eine der 3 Aren rechtwinkelig ſchneidet, den beiden anderen aber parallel iſt, ſo kann man das Hexaëder durch das Zeichen [a : ∞ a : ∞ a] ausdrücken. Auch bei dieſer Form fällt die Unterſcheidung in Endflächen und Seitenflächen ꝛc. weg. Beiſpiele ſind: Flußſpath, Steinſalz, Schwefelkies.

I.



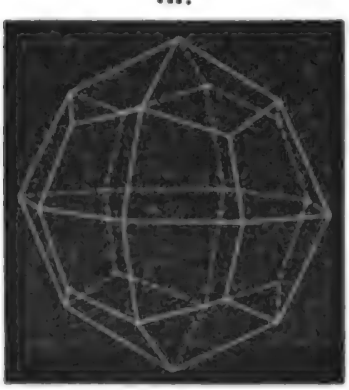
3) Das Dodecaëder, der Zwölfflächner, das Rhombendodecaëder, Granatoëder nach Weiß oder Tetragonaldodecaëder (Mohs) (ſ. Fig. II.) iſt begrenzt von 12 Rhomben, mit Winkeln von 109° 28′ 16″ und 70° 31′ 44″. Die 24 Kanten ſind gleich und der Kantenwinkel beträgt 120°. Die 14 Ecken ſind verſchieden und zwar von doppelter Art. 6 Ecken ſind vierkantig, die 8 übrigen dreikantig; dieſe werden von je dreien der ſtumpfen, jene von je vieren der ſpitzen ebenen Winkel gebildet. Die drei Aren verbinden je zwei gegenüberliegende ſpitze Ecken, und da dieſe wie die Ecken bei dem Octaëder liegen, ſo heißen ſie Octaëder-Scheitel. Jede Fläche des Dodecaëders iſt einer dieſer Aren parallel, während ſie die beiden anderen in gleichen Parametern ſchneidet; das Zeichen iſt daher [a : a : ∞ a]. Beiſpiele ſind: Granat, Hauyn, Sodalith.

II.



4) Die Ikoſitetraëder (Naumann), Vierundzwanzigflächner, Leucitoide (Weiß) oder Zweikantige Tetragonalikoſitetraëder (Mohs) kommen in mehreren Formen vor. Sie ſind (ſ. Fig. III.) begrenzt von 24 Flächen, haben 48 Kanten und 26 Ecken. Die Flächen ſind ſymmetriſche Trapezoide mit zweierlei Seiten und dreierlei Winkeln; die Kanten zerfallen in 24 längere und 24 kürzere; von den Ecken ſind 8 regulär und 3kantig, 6 regulär und 4kantig, 12 ſymmetriſch und 4kantig. Die drei Aren liegen in den 6 regulären und 4 kantigen Ecken, ſo daß je zwei längere Kanten zwei Aren verbinden. Dieſe 6 Ecken heißen deshalb wieder Octaëdrecken. Jede Fläche eines Ikoſitetraëders ſchneidet von den drei Aren 2 gleiche und einen dritten verſchiedenen Parameter ab, und zwar kennt man bis jetzt 2 Arten von Ikoſitetraëdern, die eine mit dem Verhältniſſe der Parameter [a : a : $\frac{1}{2}$ a],

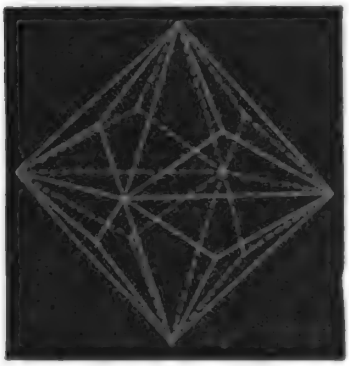
III.



die andere mit dem Verhältniſſe [a : a : 1/3 a]; das allgemeine Zeichen würde ſein: [a : a : $\frac{1}{m}$ a], wo m ganze oder gebrochene rationalle Zahlen, die größer als 1 ſind, bedeutet. Beiſpiele ſind: Leucit, Granat, Analcim.

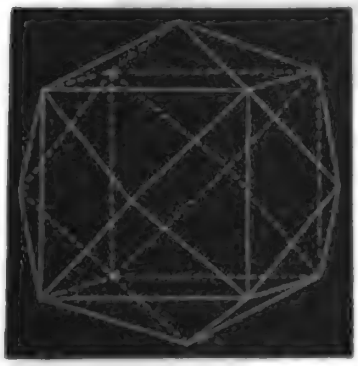
5) Die Triakisoctaëder (Naumann), Dreimalachtflächner, Pyramidenoctaëder, Octaëdriſche Trigonalikoſitetraëder (Mohs) oder Pyramidenachtflache ſind (ſ. Fig. I.) begrenzt von 24 gleichſchenkeligen Dreiecken, die ſo geſtellt ſind, daß der ganze Kryſtall das Anſehen erhält, als ob auf den Seiten eines Octaëders dreiſeitige Pyramiden aufgeſetzt wären. Sie haben 36 Kanten, von denen 12 mit den Octaëderkanten zuſammenfallen, und 24 über der Mitte der Octaëderflächen zu je drei in einer Ecke zuſammenlaufen. Von den 14 Ecken ſind 6 achtkantig und ſymmetriſch, 8 dreikantig und regulär. Die drei Axen liegen in den 6 achtkantigen Ecken (Octaëdrecken). Man kennt bis jetzt 2 Arten dieſer Kryſtallform mit dem Verhältniſſe der Parameter [a : a : 2 a] und [a : a : 3 a], ſo daß das allgemeine Zeichen [a : a : m a] ſein würde. Beiſpiel Diamant.

I.

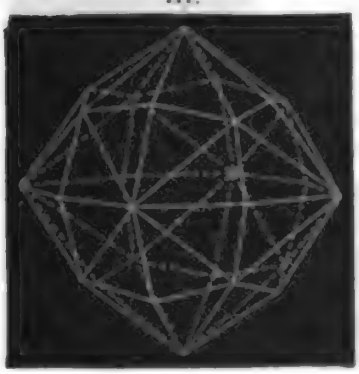


6) Die Tetrakisheraëder (Naumann), Viermalſechsflächner, Pyramidenwürfel oder Hexaëdriſche Trigonalikoſitetraëder (Mohs), ſind (ſ. Fig. II.) ebenfalls begrenzt von 24 gleichſchenkeligen Dreiecken, die aber ſo geſtellt ſind, daß der ganze Kryſtall das Anſehen erhält, als ob auf den Seiten eines Heraëders (Würfels) vierſeitige Pyramiden aufgeſetzt wären. Sie haben 36 Kanten, von denen die 12 längeren mit den Kanten des Heraëders zuſammenfallen, und die 24 kürzeren über der Mitte der Heraëderflächen zu je vier in einer Ecke zuſammenlaufen. Von den 14 Ecken ſind 8 ſechskantig und ſymmetriſch, 6 vierkantig und regulär. Die drei Axen liegen in den 6 vierkantigen Ecken (Octaëdrecken). Man kennt bis jetzt 4 Arten dieſer Kryſtallform mit dem Verhältniſſe der Parameter: [3/2 a : a : ∞ a], [2 a : a : ∞ a], [5/2 a : a : ∞ a] und [3 a : a : ∞ a], ſo daß das allgemeine Zeichen: [a : ma : ∞ a] ſein würde. Beiſpiele ſind: Gold und Kupfer.

II.



III.



7) Die Hexakisoctaëder (Naumann), Sechsmalachtflächner, Pyramidenrautenzwölfflach, Tetrakontaoctaëder (Mohs) oder Pyramidengranatoëder (Weiß) ſind begrenzt (ſ. Fig. III.) von 48 ungleichſeitigen Dreiecken, von denen je 6 um die 8 Octaëdrecken gelegen ſind. Sie haben 72 Kanten, von denen

24 zu je 2 zwei Octaëderaxen, 24 andere ebenfalls zu je 2 zwei Heraëderaxen gehören und die übrigen 24 die Octaëder- und Heraëderaxen verbinden. Von den 26 Ecken ſind 6 achtkantig und ſymmetriſch, 12 vierkantig und ſymmetriſch und 8 ſechskantig und ſymmetriſch. Die drei Axen liegen in den 6 achtkantigen Ecken (Octaëderecken). Man kennt bis jetzt 5 Arten dieſer Kryſtallform mit den Verhältniſſen der Parameter: [a : ½ a : ⅓ a], [a : ⅓ a : ¼ a], [a : ½ a : ¼ a], [a : ⅓ a : ⅐ a] und [⅓ a : ⅕ a : 1/11 a], ſo daß das allgemeine Zeichen [a : $\frac{1}{m}$ a : $\frac{1}{n}$ a] ſein würde. Beiſpiele liefern Granat und Flußſpath.

I. 1. b. Zwei- und einariges Kryſtalliſationsſyſtem.

Dies Syſtem enthält 6 homoëdriſche Formen, nämlich:

1) Quadratoctaëder, 2) Gerade Endfläche, 3) Vierſeitiges Prisma Nr. 1, 4) Vierſeitiges Prisma Nr. 2, 5) Dioctaëder und 6) Achtſeitiges Prisma.

1) Das Quadratoctaëder (ſ. Fig. I. u. II.) iſt begrenzt von 8 gleichen gleichſchenkeligen Dreiecken, hat 12 Kanten und 6 Ecken. Von den Kanten ſind 8 Scheitelkanten, vier obere und vier untere, die unter einander gleich ſind und von denen je vier eine rhombiſche Durchſchnittsebene einſchließen; die 4 übrigen

I.

II.

Kanten ſind Randkanten und der durch dieſelben gelegte Schnitt iſt ein Quadrat. Die Ecken ſind alle 4kantig, aber nur zwei von ihnen ſind gleichkantig und heißen Scheitel, die übrigen vier ſind nur ſymmetriſch und heißen Randecken. Die Hauptaxe verbindet die beiden Scheitel, die Queraxen verbinden je zwei gegenüberſtehende Randecken oder die Mittelpunkte zweier entgegengeſetzter Randkanten. Liegen die Queraxen auf die erſte Art, ſo nennt man das Quadratoctaëder von der erſten Ordnung; liegen ſie aber auf die zweite Art, ſo von der zweiten Ordnung. Dieſer ſcheinbar willkürliche Unterſchied wird nothwendig durch das Vorkommen von Kryſtallen, die Quadratoctaëder mit gerade abgeſtumpften Scheitelkanten ſind, ein Vorkommen, welches ſich nur durch eine Combination zweier Quadratoctaëder von den beiden angegebenen Ordnungen erklären läßt. Iſt die Hauptaxe größer, als jede der Queraxen, ſo heißt das quadratiſche Octaëder ſpitz, iſt ſie kleiner, ſo ſtumpf. Es giebt viele Quadratoctaëder. Bezeichnet man die Hälften der Hauptaxen mit c, die der beiden gleichen Queraxen mit a, ſo erhält man als allgemeines Zeichen [a : a : c] und insbeſondere für die Quadratoctaëder erſter Ordnung [a : a : mc], für die der zweiten Ordnung [a : ∞ a : mc]. Beiſpiel Anatas.

2) Die gerade Endfläche iſt eine Fläche, welche nie allein für ſich einen Körper bilden kann, ſondern ſtets mit anderen zugleich vorkommen muß (ſ. Fig. I.). Sie iſt rechtwinkelig gegen die Hauptaxe geneigt, alſo den Queraxen parallel, ſo daß ihr Zeichen iſt [∞ a : ∞ a : c]. Wir finden die gerade Endfläche z. B. bei dem Honigſteine. Herrſcht die gerade Endfläche in der Combination mit dem Octaëder vor, ſo wird der Kryſtall tafelförmig.

I.

3) und 4) Die vierſeitigen Prismen Nr. 1 und Nr. 2 kommen ebenfalls nicht allein für ſich vor. Sie bilden rechtwinkelige vierſeitige Säulen in Verbindung mit dem Quadratoctaëder, und treten ſie auf als Abſtumpfungen der Randkanten der Quadratoctaëder erſter Ordnung, ſo ſind es vierſeitige Prismen Nr. 1 mit dem Zeichen [a : a : ∞ c] oder [ma : ma : ∞ c]; treten ſie aber auf als Abſtumpfungen der Randecken der Quadratoctaëder erſter Ordnung oder der Randkanten der Quadratoctaëder zweiter Ordnung, ſo ſind es vierſeitige Prismen Nr. 2 mit dem Zeichen [a : ∞ a : ∞ c] oder [ma : ∞ a : ∞ c] oder [$\frac{1}{m}$ a : ∞ a : ∞ c]. Beiſpiele findet man beim Zirkon, Zinnſtein u. a.

5) Die Dioctaëder, Zweimalachtflächner, Vierundvierkantner (Weiß), Ditetragonale Pyramiden (Naumann) oder ungleichſchenkelige achtſeitige Pyramiden (Mohs) ſind von 16 ungleichſeitigen Dreiecken eingeſchloſſen, haben 24 Kanten und 10 Ecken (ſ. Fig. II.). Im Allgemeinen haben ſie das Anſehen von Quadratoctaëdern, über deren Flächen, in der Richtung der Diagonalen, Kanten herausgetreten ſind. Von den Kanten liegen 8 meiſtens ſchärfere und längere wie die Scheitelkanten von Quadratoctaëdern erſter Ordnung, 8 meiſtens ſtumpfere und kürzere wie die Scheitelkanten von Quadratoctaëdern zweiter Ordnung, und die 8 übrigen entſprechen je zwei einer Randkante der Quadratoctaëder. Von den Ecken liegen 2 in den Scheiteln der Quadratoctaëder und ſind 8kantig und ſymmetriſch, 4 in den Randecken der Quadratoctaëder erſter Ordnung und 4 in den Randecken der Quadratoctaëder zweiter Ordnung und ſind 4kantig und ſymmetriſch. Das allgemeine Zeichen iſt [a : na : mc]. Beiſp. Zirkon.

II.

6) Die achtſeitigen Prismen kommen nicht leicht für ſich allein vor, haben 8 Seitenflächen und zweierlei, abwechſelnd ſchärfere und ſtumpfere Kanten, die alle der Hauptaxe parallel laufen. Das allgemeine Zeichen iſt [a : na : ∞ c], wo n eine einfache und rationale ganze oder gebrochene Zahl bedeutet. Beiſpiel: Veſuvian.

I. 1. c. Ein- und einaxiges Kryſtalliſationsſyſtem.

Dies Syſtem enthält homoëdriſche Formen von dreierlei Art, nämlich ſolche, deren Flächen gegen alle 3 Axen geneigt ſind, ſolche, deren Flächen nur gegen 2 Axen geneigt ſind, mit der dritten aber parallel laufen, und ſolche, deren Flächen nur gegen eine Axe geneigt ſind, aber mit den beiden anderen parallel laufen. Da nur die Formen der erſten Art den Raum für ſich allein vollſtändig begrenzen

können, die anderen beiden aber nicht, ſo kommen die beiden letzteren Formen, wie wir dies auch ſchon im vorigen Syſteme geſehen haben, nur in Combinationen vor mit den Formen der erſten Art. Die Formen der erſten Art ſind durchweg

Rhombenoctaëder (ſ. Fig. I.), begrenzt von 8 ungleichſeitigen Dreiecken mit 12 Kanten und 6 Ecken. Die Kanten ſind dreierlei: 4 Scheitelkanten von den Endpunkten der Hauptaxe nach der erſten Nebenaxe, 4 Scheitelkanten von den Endpunkten der Hauptaxe nach der zweiten Nebenaxe und 4 Randkanten zwiſchen den Endpunkten der Nebenaxen. Die Ecken ſind auch dreierlei: alle 4kantig und ſymmetriſch, an den Endpunkten der Axen liegend, ſo daß die zu derſelben Axe gehörigen gleich ſind. Das allgemeine Zeichen iſt [a : b : c]. Beiſpiel: Schwefel.

I.

Die Formen der zweiten Art ſind geſchobene vierſeitige Prismen, deren Flächen in der Richtung der dreierlei Kanten der verſchiedenen Rhombenoctaëder liegen. Es treten dieſe jedoch nur paarweiſe zu je zweien an der oberen und unteren Hälfte eines Kryſtalls auf. Die Zeichen für die vorkommenden Prismen ſind: [ma : nc : ∞ b], [ma : nb : ∞ c] und [mb : nc : ∞ a]. Beiſpiele finden ſich bei dem Topas.

Die Formen der dritten Art ſind dreierlei verſchiedene Paare von Flächen nach den drei verſchiedenen Axen, welche von ihnen rechtwinkelig geſchnitten werden. Die Zeichen dieſer Flächen ſind: [a : ∞ b : ∞ c], [∞ a : b : ∞ c] und [∞ a : ∞ b : c]. Alle dieſe Flächen bilden Rhomben. Beiſpiele bietet der Anhydrit.

I. 2. d. Zwei- und eingliederiges Kryſtalliſationsſyſtem.

Die Formen dieſes Syſtems ſind wie die der vorhergehenden von dreierlei Art, nämlich ſolche, deren Flächen gegen alle 3 Axen geneigt ſind, oder nur gegen 2 geneigt, während ſie mit der dritten parallel laufen, oder nur gegen eine Axe geneigt und mit den anderen beiden parallel.

Die Formen der erſten Art ſind:

Die zwei- und eingliederigen Octaëder, begrenzt (ſ. Fig. II.) von 8 Flächen mit 12 Kanten und 6 Ecken. Die Flächen ſind ungleichſeitige Dreiecke von zweierlei Art. Die Kanten ſind viererlei, nämlich 4 Scheitelkanten, die Endpunkte der Axen a und c, und 4 desgleichen, die Endpunkte der Axen b und c verbindend, endlich 4 Randkanten zwiſchen den Endpunkten der Queraxen. Die Kanten, welche a und c verbinden, ſind nicht alle gleich, ſondern nur die einander gegenüberliegenden. Die Ecken ſind vierflächig und von dreierlei Art, nämlich 2 Ecken an den Enden der Hauptaxe mit drei verſchiedenen Kanten, 2 Ecken an den Enden der einen Queraxe ebenfalls mit drei verſchiedenen Kanten und 2 ſymmetriſche Ecken an der anderen Queraxe. Das allgemeine Zeichen würde ſein [a : b : c], und nimmt man dies für eine Form als Grundform an, ſo ergeben ſich dann für die übrigen hierher gehörigen Octaëder die

II.

Zeichen: [a : b : mc], [a : mb : c], [ma : b : c] und [ma : ab : c]. Beiſpiele finden ſich beim Gyps.

Die Formen der zweiten Art ſind wie im vorhergehenden Syſteme geſchobene vierſeitige Prismen mit den Zeichen [a : mb : ∞ c], [a : ∞ b : mc] und [∞ a : b : mc]. Beiſpiel: Gyps, Augit.

Die Formen der dritten Art ſind dreierlei verſchiedene Paare von Flächen mit den Zeichen: [a : ∞ b : ∞ c], [∞ a : b : ∞ c] und [∞ a : ∞ b : c]. Beiſpiel: Augit, Feldſpath.

I. 2. e. Ein- und eingliederiges Kryſtalliſationsſyſtem.

Auch in dieſem Syſteme ſind die Formen in drei Arten zu unterſcheiden, wie in den beiden vorhergehenden, je nachdem die Flächen gegen alle drei, oder nur gegen 2 oder nur gegen eine Axe geneigt ſind.

Die Formen der erſten Art ſind:

Die ein- und eingliederigen Octaëder, begrenzt (ſ. Fig. I.) von 8 Flächen mit 12 Kanten und 6 Ecken. Die Flächen ſind ungleichſeitige Dreiecke von viererlei Art, da nur die parallelen gleich ſind. Die Kanten ſind ſechserlei; die Ecken dreierlei, alle mit vier verſchiedenen Kanten. Die in der Ebene zweier Axen genommenen Schnitte ſind Rhomboide. Das allgemeine Zeichen würde ſein [a : b : c]. Welche Axe als Hauptaxe zu nehmen iſt, bleibt willkürlich; in dem Zeichen ſoll c dieſelbe bedeuten.

I.

Die Formen der zweiten Art ſind wieder Prismen und zwar verticale, wenn ihre Flächen der Hauptaxe parallel laufen, oder horizontale, wenn dies mit den Queraxen der Fall iſt. Die Zeichen ſind: [a : b : ∞ c], [a : ∞ b : c] und [∞ a : b : c].

Die Formen der dritten Art ſind wieder dreierlei verſchiedene Paare von Flächen, die hier auf den verſchiedenen Axen ſchiefwinkelig ſtehen. Die Zeichen ſind: [a : ∞ b : ∞ c], [∞ a : b : ∞ c] und [∞ a : ∞ b : c]. Beiſpiele: Diaspor, Cyanit, Labrador, Arinit.

II. f. Drei- und einaxiges Kryſtalliſationsſyſtem.

Dies Syſtem hat 5 homoëdriſche Formen, nämlich:

1) Hexagondodecaëder, 2) Gerade Endfläche, 3) Sechsſeitige Prismen, 4) Didodecaëder und 5) Zwölfſeitige Prismen.

II.

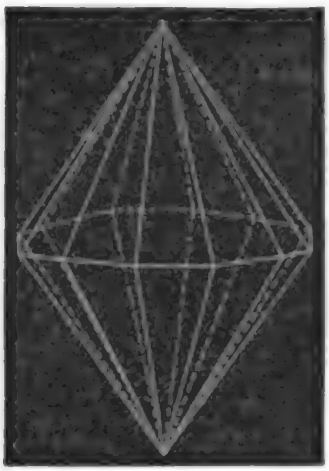
1) Die Hexagondodecaëder (Roſe), Diheraëder (Weiß), Hexagonale Pyramiden (Naumann), Gleichſchenkelige ſechsſeitige Pyramiden und Dirhomboëder (Mohs) ſind (ſ. Fig. II.) begrenzt von 12 gleichen gleichſchenkeligen Dreiecken und haben 18 Kanten und 8 Ecken. Die Kanten ſind zweierlei, nämlich 12 Scheitelkanten und 6 Randkanten. Die Ecken ſind ebenfalls zweierlei, nämlich 2 Scheitel, ſechskantig und regulär, und 6 Randecken, vierkantig und ſymmetriſch. Man unterſcheidet ſpitze und ſtumpfe Hexagondodecaëder, je nachdem die Hauptaxe länger oder kürzer

iſt als jede der Queraxen. Bezeichnen wir die 3 Queraxen mit a und die Hauptaxe wieder mit c, ſo wird das allgemeine Parameterzeichen [a : a : ∞ a : c]. Wie bei den Quadratoctaëdern des zwei- und einaxigen Kryſtalliſationsſyſtems muß man Hexagondodecaëder erſter und zweiter Ordnung unterſcheiden, jene mit dem Zeichen [a : a : ∞ a : mc], dieſe mit dem Zeichen [2a : a : 2a : mc], wo m eine einfache rationale, ganze oder gebrochene Zahl bedeutet. Beiſp.: Quarz.

2) Die gerade Endfläche iſt eine als Abſtumpfungsfläche der Scheitel auftretende, auf der Hauptaxe ſenkrecht ſtehende Fläche von der Form eines regelmäßigen Sechsecks. Ihr Zeichen iſt [∞ a : ∞ a : ∞ a : c].

3) Die ſechsſeitigen Prismen beſtehen aus 6 der Hauptaxe parallelen Flächen, welche, wie die Hexagondodecaëder, in zwei Ordnungen zerfallen, ſo daß das Zeichen des erſten ſechsſeitigen Prismas [a : a : ∞ a : ∞ c], das des zweiten ſechsſeitigen Prismas [2a : a : 2a : ∞ c] iſt. Beiſpiele finden ſich beim Quarz.

4) Die Didodecaëder (Roſe), Sechs- und Sechskantner (Weiß), Diheragonale Pyramiden (Naumann), Ungleichſechskelige zwölfſeitige Pyramiden (Mohs) ſind von 24 ungleichſeitigen Dreiecken begrenzt (ſ. nebenſtehende Figur), haben 36 Kanten und 14 Ecken. Sie haben im Allgemeinen das Anſehen von Hexagondodecaëdern, über deren Flächen in der Richtung der Diagonalen Kanten herausgetreten ſind. Die Kanten ſind dreierlei: 12 Scheitelkanten wie die Scheitelkanten des Hexagondodecaëders erſter Ordnung, 12 Scheitelkanten wie die des Hexagondodecaëders zweiter Ordnung und 12 Randkanten, je zwei einer Randkante des Hexagondodecaëders entſprechend. Die Ecken ſind dreierlei: 2 zwölfkantige ſymmetriſche Scheitelecken, und 12 vierkantige ſymmetriſche Randecken, von denen je 6 den Randecken der Hexagondodecaëder erſter und zweiter Ordnung entſprechen. Das allgemeine Parameterzeichen iſt: [a : na : pa : mc]. Beiſp.: Beryll.



5) Die zwölfſeitigen Prismen oder ſechsundſechskantigen Prismen erſcheinen als gerade Abſtumpfungen der Randkanten der Didodecaëder, haben 12 Flächen und Kanten, welche der Hauptaxe parallel laufen. Die Kanten ſind zweierlei, nämlich abwechſelnd ſchärfer und ſtumpfer. Das allgemeine Parameterzeichen iſt: [a : na : pa : ∞ c].

Nachdem wir die homoëdriſchen Formen der 6 Kryſtalliſationsſyſteme zuſammengeſtellt haben, erſcheint es nothwendig auch die hemiëdriſchen Formen näher zu betrachten.

Hemiëdriſche Formen.

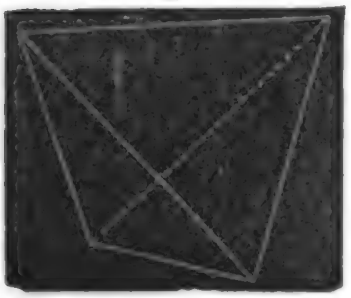
I. 1. a. Reguläres Kryſtalliſationsſyſtem.

Dies Syſtem enthält 6 hemiëdriſche Formen, nämlich:

1) Hemi-Octaëder, 2) Hemi-Ikoſitetraëder, 3) Hemi-Triakisoctaëder, 4) Hemi-Hexakisoctaëder, 5) Hemi-Tetrakishexaëder und 6) Hemi-Octakishexaëder.

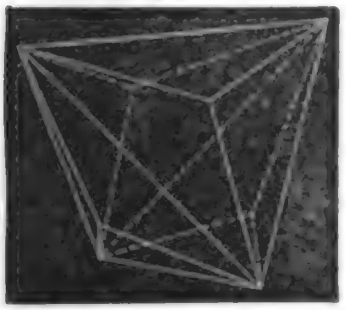
1) Das Hemi-Octaëder, Tetraëder, Halbachtflächner oder Vierflächner iſt (ſ. Fig. I.) umgrenzt von 4 gleichen gleichſeitigen Dreiecken, welche unter Winkeln von 70° 31′ 44″ gegen einander geneigt ſind, in 6 gleichen Kanten ſich ſchneiden und 4 gleiche Ecken bilden. Die 3 Aren verbinden die Mittelpunkte je zweier gegenüberliegender Kanten. Zeichen: $^1/_2$ [a : a : a]. Beiſp.: Zinkblende, Fahlerz.

I.



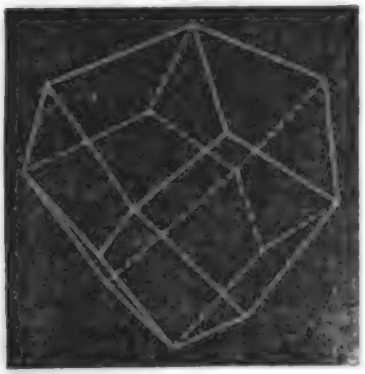
2) Die Hemi-Ikoſitetraëder, Pyramidentetraeder, Trigondodecaëder (Naumann), Trigonaldodecaëder (Mohs) oder Halbvierundzwanzigflächner ſind (ſ. Fig. II.) von 12 gleichſchenkeligen Dreiecken begrenzt, haben 18 Kanten und 8 Ecken. Die Kanten ſind zweierlei: 6 ſchärfere und längere, wie die Kanten des Hemi-Octaëders liegend, von den Grundſeiten der Dreiecke gebildet, und 12 ſtumpfere und kürzere, von den Schenkeln der Dreiecke gebildet. Die Ecken ſind auch zweierlei: 4 ſechskantige ſymmetriſche, wie die Ecken des Hemi-Octaëders liegend, und 4 dreikantige regelmäßige, den Flächen des Hemi-Octaëders entſprechend. Die drei Aren liegen in den Mittelpunkten der 6 ſchärferen Kanten. Das allgemeine Parameterzeichen iſt: $^1/_2$ [a : a : $\frac{1}{m}$ a]. Beiſp. Fahlerz von der Zilla zu Clausthal.

II.



3) Die Hemi-Triakisoctaëder, Trapezoiddodecaëder (Weiß), Deltoiddodecaëder (Naumann), Zweikantiges Tetragonaldodecaëder (Mohs) oder Halbdreimalachtflächner ſind (ſ. Fig. III.) begrenzt von 12 ſymmetriſchen Trapezoiden, die denen der Ikoſitetraëder ähnlich ſind, haben 24 Kanten und 14 Ecken. Die Kanten ſind zweierlei: 12 ſchärfere und längere, je zwei ähnlich wie die Kanten des Hemi-Octaëders liegend: 12 ſtumpfere und kürzere, ähnlich liegend wie Linien, die von den Mittelpunkten der Flächen eines Hemi-Octaëders nach den Mitten der Kanten gehen würden. Die Ecken ſind dreierlei: 6 vierkantige ſymmetriſche, wie die Octaëdercken liegend; 4 dreikantige reguläre, wie die Ecken des Hemi-Octaëders liegend und 4 dreikantige reguläre, in ihrer Lage den Flächen des Hemi-Octaëders entſprechend. Das allgemeine Parameterzeichen würde ſein: $^1/_2$ [a : a : na], man kennt aber bis jetzt nur ein Hemi-Triakisoctaëder, welches nicht einmal ſelbſtſtändig vorkommt, mit dem Zeichen: $^1/_2$ [a : a : 2a]. Beiſp.: Fahlerz von Dillenburg.

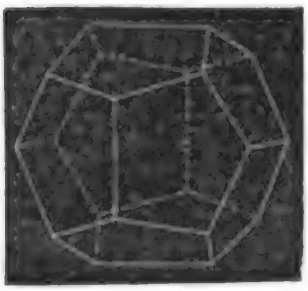
III.



4) Die Hemi-Hexakisoctaëder, Gebrochene Pyramidente-

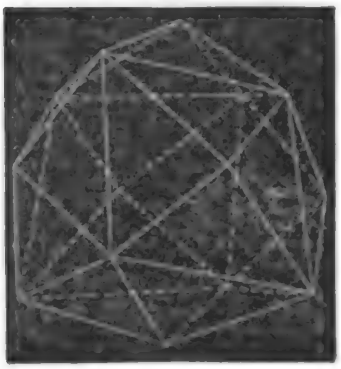
traëder (Weiß), Herakistetraëder (Naumann), Tetraëdriſche Trigonalikoſitetraëder (Mohs), oder Halbſechsmalachtflächner ſind (ſ. Fig. I.) begrenzt von 24 ungleichſeitigen Dreiecken, haben 36 Kanten und 14 Ecken. Die Kanten ſind dreierlei: 12 ſchärfere paarweiſe über den Kanten des eingeſchriebenen Hemi-Octaëders, alſo wie die erſten Kanten des Hemi-Triakisoctaëders liegend; 12 ſtumpfere längere und 12 ſtumpfere kürzere, die abwechſelnd zu einer ſymmetriſchen Ecke über der Mitte der Flächen des Hemi-Octaëders zuſammentreten. Die Ecken ſind auch dreierlei: 6 ſymmetriſche vierkantige, den Octaëdrecken entſprechend; 4 ſymmetriſche ſechskantige, den Ecken des Hemi-Octaëders entſprechend und 4 ebenfalls ſymmetriſche ſechskantige, ähnlich wie die Ecken des Hemi-Ikoſitetraëders und Hemi-Triakisoctaëders liegend. Das allgemeine Parameterzeichen iſt: $^1/_2$ [a : ma : na], man kennt aber bis jetzt nur zwei Arten, nämlich: $^1/_2$ [a : $^1/_2$ a : $^1/_3$ a] und $^1/_2$ [a : $^1/_3$ a : $^1/_5$ a]. Beiſpiele: Fahlerz und Borazit.

I.

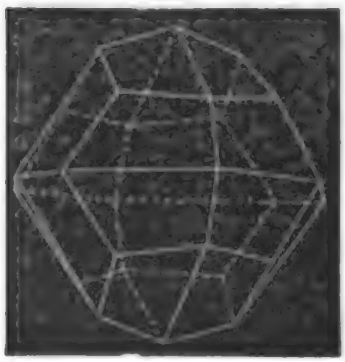


5) Die Hemi-Tetrakisheraëder, Pyritoëder (Weiß), Pentagondodecaëder (Naumann), Heraëdriſche Pentagonaldodecaëder (Mohs) oder Halbviermalſechsflächner ſind (ſ. Fig. II.) von 12 ſymmetriſchen Fünfecken, d. h. ſolchen, welche zweierlei Seiten: 4 gleiche und eine einzelne, und dreierlei Winkel: 2 Paar gleiche und einen einzelnen, haben, eingeſchloſſen; haben 36 Kanten und 20 Ecken. Die Kanten ſind zweierlei: 6 gebildet von den einzelnen Seiten je zweier Fünfecke und der Lage nach den Flächen des Heraëders entſprechend, und 24 gebildet von je 2 gleichen Seiten der aneinanderſtoßenden Fünfecke. Die Ecken ſind auch zweierlei: 12 dreikantige unregelmäßige, an den Enden der Grundkanten liegend, und 8 dreikantige regelmäßige, den Ecken des Heraëders entſprechend. Je zwei entgegengeſetzte Flächen ſind parallel und die drei Axen verbinden die Mittelpunkte der Grundkanten. Das allgemeine Parameterzeichen iſt $^1/_2$ [a : ma : ∞ a]. Beiſp.: Schwefelkies, Glanzkobalt.

II.



III.



6) Die Hemi-Octakisheraëder, Gebrochene Pentagondodecaëder (Weiß), Dyakisdodecaëder (Naumann), Dreikantige Tetragonalikoſitetraëder (Mohs) oder Halbachtmalſechsflächner (ſ. Fig. III.) ſind begrenzt von 24 Trapezoiden mit dreierlei Seiten, von denen die beiden gleichen neben einander liegen, haben 48 Kanten und 26 Ecken. Die Kanten ſind dreierlei: 12 kurze, paarweiſe über den Grundkanten des Hemi-Tetrakisheraëders liegend; 24 längere, zu dreien an einander ſtoßend, und

12 längſte, ähnlich wie Linien liegend, die auf den Flächen des Hemi-Tetrakis-heraëders ſenkrecht auf die Grundkanten gezogen werden. Die Ecken ſind ebenfalls dreierlei: 6 ſymmetriſche vierkantige, wie die Octaëdrecken liegend, 8 regelmäßige dreikantige, wie die Heraëdrecken liegend, und 12 unregelmäßige vierkantige, über den Octaëderkanten liegend. Das allgemeine Parameterzeichen iſt: $^1/_2$ [a : ma : na]. Beiſp.: Schwefelkies.

Die vier erſten hemiedriſchen Formen ſind geneigtflächig, die beiden letzten parallelflächig.

I. 1. b. Zwei- und einariges Kryſtalliſationsſyſtem.

Die hemiedriſchen Formen dieſes Syſtems ſind ſehr ſelten bis jetzt beobachtet.

1) Das Hemi-Octaëder, Quadrattetraëder oder Tetragonale Sphenoid (Naumann), begrenzt von 4 gleichſchenkeligen Dreiecken mit 6 Kanten und 4 Ecken. 2 Kanten ſind Endkanten und 4 Seitenkanten. Die Ecken ſind unregelmäßig dreikantig. Zeichen: $^1/_2$ [a : a : c]. Beiſpiel: Kupferkies.

2) Das Hemi-Dioctaëder oder Tetragonale Skalenoëder (Naumann), begrenzt von 8 ungleichſeitigen Dreiecken mit 12 Kanten und 6 Ecken.

I. 1. c. Ein- und einariges Kryſtalliſationsſyſtem.

Die hemiedriſchen Formen dieſes Syſtems ſind noch ſeltener als die des vorhergehenden. Sie ſind ebenfalls Hemi-Octaëder oder Tetraëder und treten untergeordnet an homoëdriſchen Formen auf, z. B. beim Bitterſalze und Manganit.

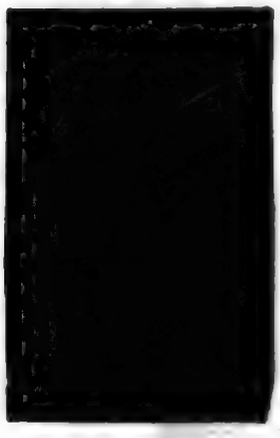
I. 2. d. Das zwei- und eingliederige und

I. 2. e. Das ein- und eingliederige Kryſtalliſationsſyſtem bieten keine hemiedriſchen Formen dar.

II. f. Drei- und einariges Kryſtalliſationsſyſtem.

Die hemiedriſchen Formen werden in dieſem Syſteme am zahlreichſten gefunden.

1) Die Hemi-Dodecaëder oder Rhomboëder ſind (ſ. beiſtehende Figur) begrenzt von 6 Rhomben, haben 12 Kanten und 8 Ecken. Die Kanten



ſind zweierlei: 6 Scheitelkanten und 6 Randkanten. Die Ecken ſind ebenfalls zweierlei: 2 Scheitel dreikantig und regelmäßig; 6 Randecken dreikantig und unregelmäßig. Die 3 Queraxen verbinden die Mittelpunkte der gegenüberliegenden Randkanten. Man unterſcheidet ſpitze und ſtumpfe Rhomboëder, je nachdem der Scheitelkantenwinkel weniger oder mehr als 90° beträgt. Ferner unterſcheidet man Rhomboëder erſter und zweiter Ordnung, die jedoch nicht aus den entſprechenden Hexagondodecaëdern, ſondern aus ein und demſelben hervorgehen. Das allgemeine Parameterzeichen der Rhomboëder iſt: $^1/_2$ [a : a : ∞ a : ma]. Beiſp.: Kalkſpath.

2) Die Hemi-Didoceaëder, Drei- und Dreikantner (Weiß), Skalenoëder (Naumann) oder Halbzweimalzwölfflächner ſind

(ſ. Figur I.) begrenzt von 12 ungleichſeitigen Dreiecken, haben 18 Kanten und 8 Ecken. Die Kanten ſind dreierlei: 6 kürzere und ſchärfere, 6 längere und ſtumpfere Scheitelkanten und 6 Randkanten. Die Ecken ſind zweierlei: 2 Scheitel, ſechskantig und ſymmetriſch und 6 Randecken, vierkantig und unregelmäßig. Die 3 Querаxen verbinden die Mittelpunkte der gegenüberliegenden Randkanten. Das allgemeine Zeichen iſt: $^1/_2$ [a : na : pa : me]. Beiſp.: Kalkſpath.

I.

Dieſe beiden hemiedriſchen Formen ſind parallelflächig; es kommen jedoch auch noch geneigtflächige hemiedriſche Formen in dieſem Syſteme vor. Da dieſe ſehr ſelten gefunden werden, ſo erwähnen wir ſie nur dem Namen nach, nämlich:

1) Die trigonalen Pyramiden (Naumann) und 2) die heragonalen Trapezoëder (Naumann).

Tetartoëdriſche Formen.

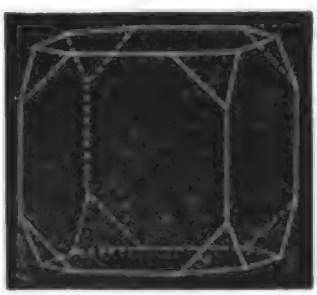
Die tetartoëdriſchen Formen finden ſich ſelten und ſind hemiedriſche Formen der Hemi-Dikodecaëder. Die eine Form iſt parallelflächig und bildet ein gedrehtes Rhomboëder, die andere Form iſt geneigtflächig, nämlich das trigonale Trapezoëder (Naumann), welches bis jetzt nur beim Quarz beobachtet worden iſt.

Wegen genauerer, ins Einzelne eingehender Beſchreibung verweiſen wir auf: Elemente der Kryſtallographie von Guſtav Roſe. Berlin 1833. und wegen der mathematiſchen Verhältniſſe auf:

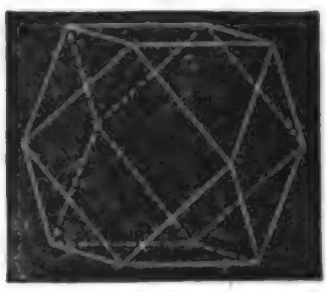
Grundriß der mathematiſchen Verhältniſſe der Kryſtalle von Pfaff. Nördlingen 1853.

Außer in den eben aufgeführten einfachen Formen treten die Kryſtalle auch in zuſammengeſetzten auf. Der Unterſchied beſteht darin, daß eine einfache Form begrenzt wird von lauter gleichnamigen Flächen, eine zuſammengeſetzte hingegen von ungleichnamigen; jene z. B. von lauter Dreiecken wie bei dem Octaëder, oder von lauter Rhomben wie bei dem Dodecaëder, dieſe hingegen z. B. von Quadraten und Dreiecken oder Achtecken und Dreiecken ꝛc., wie die Figuren II. und III. zeigen. Um jedes Mißverſtändniß zu beſeitigen, möchte

II.



III.



es gut ſein noch zu bemerken, daß bei den einfachen Formen die Kanten und Ecken nicht gleich zu ſein brauchen (ſie ſind es zwar z. B. bei dem Octaëder und Hexaëder, aber nicht bei dem Ikoſitetraëder), eben ſo wenig, wie bei den zuſammengeſetzten Formen eine Ungleichheit derſelben etwa bedingt wäre (bei dem eben angeführten Kryſtalle, welcher aus Quadraten und Dreiecken gebildet und Mittelkryſtall zwiſchen Octaëder und Hexaëder genannt wird, findet z. B. Gleichheit der Kanten und Ecken ſtatt). Denkt man ſich an einer zuſammengeſetzten Form die gleichnamigen Flächen ſo vergrößert, daß alle übrigen dadurch aus der Begrenzung des Kryſtalls zum Verſchwinden kommen, ſo bilden dieſe vergrößerten Flächen eine einfache Form. Läßt man bei dem Mittelkryſtalle zwiſchen Octaëder und Hexaëder, z. B. die Quadrate größer werden bis zum Verſchwinden der Dreiecke, oder bei dem zweiten eben angeführten Beiſpiele die Achtecke ebenfalls bis zu dem Verſchwinden der Dreiecke, ſo erhält man ein Hexaëder; thut man hingegen Daſſelbe mit den Dreiecken, bis in dem einen Falle die Quadrate, im anderen die Achtecke vollſtändig verſchwinden, ſo erhält man ein Octaëder. Eine zuſammengeſetzte Form läßt ſich alſo als eine Combination aus ſo vielen einfachen Formen anſehen, als an derſelben verſchiedene Arten gleichnamiger Flächen auftreten. Die eben angeführten Beiſpiele ſind alſo Combinationen des Octaëders mit dem Hexaëder.

Hieraus erklärt ſich auch, warum wir oben unter den einfachen Formen zum Theil ſolche mit aufgeführt haben, welche für ſich allein den Raum nicht begrenzen würden und nur in Combinationen vorkommen. Man nennt ſolche Flächen, welche für ſich allein den Raum nicht begrenzen würden, wohl auch *zuſammengehörige Flächen*.

Die Flächen einer jeden einfachen Form in einer Combination können natürlich nicht in ihrer vollen Ausdehnung erſcheinen, ſondern die eine einfache Form ſchneidet gewiſſermaßen von den Flächen der anderen, mit ihr combinirten einfachen Form Theile ab. Die einfache Form, deren Flächen noch vorherrſchen, bildet die *Grundform*, die untergeordneten Flächen ſind *Abänderungsflächen*. In dem einen oben angeführten Beiſpiele herrſcht z. B. das Hexaëder vor, zu welchem die Achtecke gehören, es iſt alſo das Hexaëder die Grundform und die Abänderungsflächen gehören zu einem Octaëder; in dem anderen Beiſpiele kann ſowohl das Hexaëder als das Octaëder als Grundform betrachtet werden.

Die Abänderungsflächen bilden an der Grundform entweder *Abſtumpfungen* oder *Zuſchärfungen* oder *Zuſpitzungen*. Iſt an der Stelle einer Kante der Grundform *eine* Fläche vorhanden, die mit beiden Flächen der früheren Kante parallele Kanten bildet, ſo nennt man (nach *Werner*) die Kante *abgeſtumpft*. Iſt die Abſtumpfungsfläche gegen beide Flächen der abgeſtumpften Kante gleich geneigt, ſo iſt ſie *gerade*; iſt ſie aber ungleich geneigt, ſo *ſchief*. Eben ſo wie eine Kante, kann auch eine Ecke abgeſtumpft ſein, und auch hier heißt die Abſtumpfungsfläche *gerade* oder *ſchief*, je nachdem ſie mit den Flächen der Ecke gleiche oder ungleiche Neigung hat. Treten an die Stelle einer Kante *zwei* neue *gleichförmige* Flächen, ſo heißt die Kante *zugeſchärft*. Statt der einen Kante der Grundform finden ſich dann 3 Kanten. Die mittlere dieſer 3 Kanten heißt die *Zuſchärfungskante*, und die beiden Abänderungsflächen werden *Zuſchärfungsflächen* genannt. Eine Ecke heißt *zugeſchärft*, wenn ſtatt derſelben zwei Flächen auftreten. Es iſt dies bei vierkantigen Ecken bisweilen der Fall. Auch hier unterſcheidet man *gerade* oder *ſchief aufgeſetzte* Zuſchär-

fungen. Tritt an die Stelle einer Ecke eine ſtumpfere, ſo nennt man ſie zugeſpitzt. Die neue Ecke hat entweder eben ſo viel, oder halb ſo viel oder noch einmal ſo viel Flächen als die urſprüngliche, und auch hier wird zwiſchen gerade oder ſchief aufgeſetzten Zuſchärfungsflächen unterſchieden.

Sowohl bei einfachen als zuſammengeſetzten Kryſtallgeſtalten tritt oft der Fall ein, daß mehrere Flächen alle einer und derſelben Linie parallel laufen, und wenn ſie ſich ſchneiden, Kanten bilden, welche eben derſelben Linie parallel ſind, z. B. die 4 Seitenflächen des Heraëders, oder ſich auch nur berühren, z. B. bei dem Dodecaëder, oder ſogar durch zwiſchenliegende Flächen ganz außer Verbindung ſtehen. Dieſe Flächen liegen um die Linie herum, mit welcher ſie parallel laufen, entweder einen zuſammenhängenden, oder unterbrochenen Gürtel bildend. Man nennt die zu einem ſolchen Gürtel gehörigen Flächen eine Zone, und die Linie, mit welcher der Parallelismus ſtattfindet, die Zonenaxe. Hat man die Flächen einer Zone ermittelt, ſo erleichtert man ſich dadurch die Beſtimmung der Parameter weſentlich. Es würde uns hier ein tieferes Eingehen zu weit führen; wir verweiſen daher nochmals auf die bereits angeführten Werke von G. Roſe und Pfaff. In Hinſicht auf die Nomenclatur der Kryſtallgeſtalten und der Kryſtallſyſteme iſt zu vergl. Synonymik der Kryſtallographie von Kenngott. Wien 1855.

Der im Vorſtehenden eingeſchlagene Weg, die verſchiedenen Kryſtallgeſtalten zu claſſificiren und die zuſammengeſetzten Formen auf die einfachen zurückzuführen, iſt nicht der einzig mögliche. Hauy *), Gründer der wiſſenſchaftlichen Kryſtallographie, während Werner **) nur die ſogenannte empiriſche oder naturhiſtoriſche Kennzeichenlehre, die ſich mit der Unterſcheidung der äußerlich leicht erkennbaren Merkmale der Mineralkörper beſchäftigt, zu einem verhältnißmäßig hohen Grade von Vollkommenheit ausbildete, ſtellte zuerſt das Ebenmaßgeſetz auf, welches ſich ſo ausdrücken läßt:

Alle identiſchen Theile des Urparallelepipedums müſſen beim Werden anderer Kryſtallgeſtalten zugleich und auf einerlei Weiſe dieſelben Aenderungen erleiden.

Da die drei Dimenſionen des Körpers nämlich am einfachſten am rechtwinkeligen Parallelepipedum, d. h. an dem von 6 parallelogrammatiſchen Flächen begrenzten Körper mit 12 Kanten und 8 Ecken, ausgedrückt werden, ſo lag der Gedanke nahe, alle Kryſtallformen aus dieſer Einen Urform abzuleiten, als entſtanden durch Wegnahme von Ecken und Kanten nach einem allgemein gültigen Geſetze, und dies iſt eben das Ebenmaßgeſetz.

Sind bei dem rechtwinkeligen Parallelepipedum die drei Dimenſionen gleich, ſo iſt es ein Heraëder (Würfel), ſind nur 2 gleich, ſo iſt es eine gerade quadratiſche Säule, und ſind alle 3 Dimenſionen ungleich, ſo iſt es eine gerade rectanguläre Säule.

Erleidet nun z. B. ein Würfel eine Enteckung, ſo müſſen nach dem Eben-

*) Traité de Mineralogie. 4 Vol. Paris 1801; 2. édit. 1822. — Deutſche Ueberſetzung: Lehrbuch der Mineralogie von Hauy, überſetzt von Karſten und Weiß, Paris und Leipzig. 4 Bände. 1804—1810.

**) Von den äußerlichen Kennzeichen der Foſſilien. Leipzig 1774.

maßgeſetze alle Ecken abgeſtumpft erſcheinen, da ſie alle unter ſich gleich und ähnlich ſind; denken wir uns an dem Quadratoctaëder eine Veränderung auftretend, ſo erſcheint dieſe an den beiden Scheiteln als gerade Endfläche, weil beide Scheitel unter einander gleich ſind, oder an den vier Randkanten als vierſeitiges Prisma Nr. 1., oder an den vier Randecken als vierſeitiges Prisma Nr. 2., weil die vier Randkanten und eben ſo die vier Randecken unter ſich gleich ſind; eben ſo können bei dem Rhomboëder nur beide Scheitel eine Veränderung zugleich erfahren, oder alle Randecken zugleich.

Die Grundformen gewinnt man aus dem Stammparallelopipedum durch beſondere Schnitte. Nehmen wir einen Würfel und ſtumpfen die Ecken ab, ſo muß dies nach dem Ebenmaßgeſetze an allen 8 Ecken geſchehen, überdies muß die Abſtumpfungsfläche gegen die drei Flächen der Würfelecke gleich geneigt ſein, da dieſe Flächen unter ſich gleich ſind; ſetzen wir nun die Abſtumpfung der Ecken fort, bis die Würfelflächen verſchwinden, ſo erhalten wir das regelmäßige Octaëder. Führen wir in gleicher Weiſe Schnitte, durch welche die Kanten des Würfels abgeſtumpft werden, ſo gewinnen wir ſchließlich das Dodecaëder. Eben ſo gewinnt man die übrigen Formen des regulären Kryſtalliſationsſyſtems durch Schnitte unmittelbar aus dem Würfel oder mittelbar aus dem Octaëder oder Dodecaëder.

Eben ſo wie bei dem regulären Kryſtalliſationsſyſteme iſt es bei den übrigen. Gehen wir von der geraden quadratiſchen Säule aus, ſo darf nach dem Ebenmaßgeſetze bei Abſtumpfung einer Ecke die Abſtumpfungsfläche nicht gegen alle drei urſprünglichen Flächen der Ecke gleich geneigt ſein, weil dieſe nicht gleich ſind, ſondern dieſe Gleichheit der Neigung muß nur in Bezug auf die zwei gleichen Seitenflächen ſtattfinden, gegen die Endfläche hingegen muß die Neigung gemäß der Höhe der Säule verſchieden ſein. Durch Abſtumpfung der Ecken bis zum Verſchwinden der urſprünglichen Flächen, entſteht ſo das Quadratoctaëder. Das Abſtumpfen Einer Randkante erfordert die Abſtumpfung aller Randkanten, aber nicht der Seitenkanten, und eben ſo das Wegnehmen einer Seitenkante die Wegnahme aller Seitenkanten, aber nicht die der Randkanten. Stumpft man die Randkanten bis zum Verſchwinden der urſprünglichen Flächen ab, ſo erhält man ebenfalls ein Quadratoctaëder, ſo daß wir hierin den oben aufgeſtellten Unterſchied in Quadratoctaëder erſter und zweiter Ordnung wiederum begründet finden. Eben ſo giebt die Abſtumpfung der Seitenkanten bis zum Verſchwinden der urſprünglichen Seitenflächen ein neues vierſeitiges Prisma, während, falls die Abſtumpfung nicht ſo weit getrieben wird, ein achtſeitiges Prisma gewonnen wird.

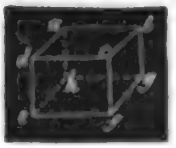
Legen wir die gerade rectanguläre Säule zu Grunde, ſo muß bei einer Abſtumpfung der Ecken, da die drei Hauptdimenſionen verſchieden ſind, alſo je zwei ſich ſchneidende Flächen nicht gleich ſind, die Abſtumpfungsfläche gegen jede der drei urſprünglichen Flächen verſchieden geneigt ſein, eben ſo muß bei der Abſtumpfung der Kanten die Abſtumpfungsfläche gegen jede von ihr geſchnittene urſprüngliche Fläche eine andere Neigung haben. Setzt man die Schnitte, durch welche die Ecken abgeſtumpft werden, ſo weit fort, bis die urſprünglichen Flächen verſchwinden, ſo erhält man das Rhombenoctaëder; in gleicher Weiſe durch das Abſtumpfen der Seitenkanten die geſchobenen vierſeitige Prismen.

Wenn die gerade rectanguläre Säule ein ſolches Verhältniß ihrer Länge zu ihrer Breite hat, daß bei Abſtumpfung der Seitenkanten bis zum Verſchwinden der urſprünglichen Seitenflächen nach dem Ebenmaßgeſetze eine rhombiſche Säule mit Winkeln von 120° und 60° entſteht, und die ſcharfen Seitenkanten nicht ausgebildet, ſondern ſtatt derſelben noch Reſte der Stammflächen vorhanden ſind, die den neuen Flächen gleich ſind, ſo erhält man das ſechsſeitige Prisma des drei- und einaxigen Kryſtalliſationsſyſtems. Aus dieſem Prisma gewinnt man dann die übrigen Formen dieſes Syſtems.

Es mögen dieſe Ableitungen genügen, um das Ebenmaßgeſetz zu veranſchaulichen. Doch muß noch erwähnt werden, daß dies Geſetz nicht ausreichend iſt, in ſofern Kryſtallgeſtalten vorkommen, bei deren Bildung daſſelbe ſogar verletzt erſcheint, indem man z. B. bei Rhomboëdern bisweilen nur einen Scheitel abgeſtumpft ſieht. Zu Erklärung dieſer Geſtalten nimmt man das ſogenannte Geſetz der Kryſtalliſations-Polarität zu Hülfe. Es tritt hierbei eine doppelte Abweichung des Ebenmaßgeſetzes auf:

1) Gewiſſe Theile eines rechtwinkeligen Parallelopipedums, welche einander diametral entgegenſtehen, daher gleich ſind, verhalten ſich dennoch, in Abſicht einer oder der andern der möglichen Abänderungen, die ſie erleiden können, als verſchiedene, während dieſelben, einander diagonal gegenüberliegenden Theile als gleichartige ſich darthun. — Um dies näher zu erläutern, verweiſen wir auf beiſtehende Fig. I. und bemerken, daß z. B. die Ecken b und e, eben ſo die Kanten ab und ef einander diametral gegenüberliegen, hingegen die Ecken b und f, eben ſo die Kanten ab und cd diagonal.

I.



2) Oder umgekehrt, die diametral entgegenſtehenden Theile ähnlicher Art verhalten ſich als gleiche, indeſſen die diagonal ſich gegenüberliegenden verſchiedenartige Abänderungen erleiden. Es tritt z. B. an einem Würfel eine Abſtumpfung der Ecken ein, wie ſie in Fig. II. zur Anſchauung gebracht wird; eine Abſtumpfung, welche bis zum Verſchwinden der urſprünglichen Flächen des Würfels fortgeſetzt das Hemi-Octaëder (Tetraëder) als Reſultat giebt. Auch das Hemi-Tetrakisheraëder und die übrigen hemiedriſchen Formen werden mittelſt des Polariſationsgeſetzes aus den Kernformen abgeleitet *).

II.

Die individualiſirende Geſtaltung der Kryſtalle iſt nicht blos äußerlich, ſondern geht auch in das Innere. Sehr viele Kryſtalle laſſen ſich nämlich in Richtungen (Ebenen) einer oder der anderen ihrer äußeren Flächen parallel bis zu den dünnſten Blättchen ſpalten, haben alſo einen beſtimmten Blätterdurchgang, ein regelmäßiges Gefüge. In jeder anderen Richtung ſetzen ſie einer trennenden Kraft größeren Widerſtand entgegen, und wird dieſe mit Gewalt

*) Der Name Geſetz der Kryſtalliſations-Polarität rührt davon her, daß dieſe Verletzung des Ebenmaßgeſetzes ſich zum Theil bei Kryſtallen zeigt, welche (z. B. Turmalin) durch Erwärmung polariſch-elektriſch werden.

überwunden, ſo entſtehen nicht wie bei dem Schnitt in der Richtung des Blätterdurchgangs ebene, ſondern unregelmäßige Bruchflächen. Dieſe Regelmäßigkeit eines beſtimmten Gefüges zeigt ſich nicht allein bei Kryſtallen, ſondern auch bei anderen äußerlich nicht regelmäßig begrenzten Foſſilien. Man nennt dieſe kryſtalliniſch-blätterige Mineralien.

Nicht nur parallel mit Einer ſeiner Flächen hat ein Kryſtall Durchgänge, ſondern zuweilen parallel mit allen ſeinen Flächen, zuweilen auch nur mit einigen derſelben. Man unterſcheidet Hauptdurchgänge, welche ſtets die deutlichſten ſind, und Nebendurchgänge, welche mehr zufällig erſcheinen. Je größer die Mannichfaltigkeit verſchiedenartiger Kryſtallflächen an einem Mineralkörper iſt, deſto größer iſt auch die Anzahl der verſchiedenartigen Durchgänge. Die Durchgänge ſcheinen bei allen Kryſtallen vorhanden zu ſein; bei einigen läßt ſich aber die Spaltung nach den Durchgängen mechaniſch (mit Meſſer, Meiſel, Ambos, Hammer ꝛc.) leichter ausführen, als bei anderen. Einige Kryſtalle werden leichter ſpaltbar, wenn man ſie glüht und dann in Waſſer ſchnell ablöſcht. Bei noch anderen kann man die Spaltung zwar nicht ausführen, aber das Vorhandenſein der Durchgänge läßt ſich aus der Reflexion von Lichtſtrahlen wahrnehmen.

Durch künſtliches Spalten nach den Durchgängen erhält man die regelmäßigen von Ebenen begrenzten Körper, welche man Kernformen nennt, und von denen man dann die äußeren (verſchiedenen) Geſtalten, in welchen eine Subſtanz kryſtalliſirt erſcheint, ableitet.

Es war Hauy *), welcher die Idee zuerſt ausführte, alle Formen, welche eine Mineralſubſtanz annehmen kann, auf eine und dieſelbe primitive Form zurückzuführen und umgekehrt die Kryſtallgeſtalt aus Molekülen, die er integrirende nennt, aufzubauen oder als durch Aneinanderlegung derſelben wachſend darzuſtellen. Er reicht hierbei aus mit drei Formen der integrirenden Moleküle, nämlich mit dem Tetraëder (die allereinfachſte Pyramide), dem dreiſeitigen Prisma (das einfachſte unter allen Prismen) und dem Parallelopipedon (der einfachſte geometriſche Körper). Wegen der näheren Ausführung dieſer Idee müſſen wir indeſſen hier auf das Werk Hauy's ſelbſt verweiſen.

Hauy fand viele ausgezeichnete Anhänger. Unter den Deutſchen erwarb ſich beſondere Verdienſte Weiß **), der zuerſt die zuſammengehörigen Kryſtallgeſtalten in Kryſtalliſationsſyſteme zuſammenſtellte.

Wenn man drei ſich gegenſeitig halbirende Linien im Raume annimmt, und zwiſchen ihren Schenkeln combinirt, ſo gelangt man auf eine höchſt einfache Weiſe zu einem Aggregat von Complexionen, welche unter gewiſſen Bedingungen alle in der Natur vorkommende Kryſtallgeſtalten darſtellen können. Die Verknüpfung und Zerlegung dieſer Complexionen giebt über alle Verhältniſſe der Geſtalten als ſolcher genügende Auskunft, und es entſpringt daraus eine eigenthümliche Art von ſchematiſcher Darſtellung oder Rechnung, welche von allen beſtimmten Größenverhältniſſen der Elemente unabhängig iſt, und blos die Art der Geſtalt (ob ſie z. B. ein Prisma, ein Rhomboëder ꝛc. iſt) und die Verhältniſſe der Ableitung und des

*) A. a. O. Deutſche Ueberſetzung. Bd. I. S. 70 ff.

**) Dynamiſche Anſicht der Kryſtalliſation, als Anhang in der deutſchen Ueberſetzung von Hauy's Lehrbuch der Mineralogie. Bd. I. S. 365 ff.

Zuſammenhanges verſchiedener Geſtalten betrifft. Dieſen Weg, die Kryſtallgeſtalten zu beſtimmen, hat J. G. Graßmann *) mit Glück eingeſchlagen. Nahe verwandt hiermit ſind die Arbeiten von F. E. Neumann **), ohne daß der Eine die Arbeiten des Anderen kannte. Ferner iſt Mohs ***) zu nennen, der von einer Grundgeſtalt für jede Kryſtallreihe ausgeht und von dieſer die verſchiedenen Geſtalten jeder Reihe ableitet. In dem Sinne von Mohs arbeitete Hausmann ****). Beſondere Verdienſte erwarben ſich überdies noch in der Kryſtallographie C. Naumann *****), beſonders durch die Bezeichnungsweiſe jeder Kryſtallfläche durch 3 Coordinatenaxen, Breithaupt †) namentlich durch genauere Beſtimmungen der urſprünglichen Maße bei den Kryſtallreihen vieler Subſtanzen, G. Roſe u. A. Neuerdings iſt eine bedeutende Arbeit erſchienen von Rammelsberg ††), durch welche das geſammte Material für die Kenntniß der Kryſtallformen chemiſcher Verbindungen möglichſt vollſtändig zur Anſchauung gebracht wird.

Haben wir im Obigen die Kryſtallgeſtalten als iſolirte, vollſtändig ausgebildete und ſymmetriſche Individuen aufgefaßt, ſo ſind wir eigentlich von der Wirklichkeit abgewichen. Vollkommen ſymmetriſch gebildete Kryſtalle in der beſchriebenen Form kommen in der Wirklichkeit höchſt ſelten, vielleicht gar nicht vor, und ſind daher nur als Ideale der Kryſtallbildung anzuſehen. Sowohl die natürlich vorkommenden Subſtanzen (Mineralien), als auch die künſtlich dargeſtellten können nur in Gedanken dadurch auf ſymmetriſche Formen zurückgeführt werden, daß man ſich ihre Flächen beweglich denkt, und dieſelben in paralleler Richtung einander nähert oder von einander entfernt. Rammelsberg ſagt hierüber, daß die Unſymmetrie der Kryſtalle oder die Verzerrung der urſprünglich ſymmetriſchen Form eine Folge iſt von der veränderten Centraldiſtanz einer oder mehrerer Flächen, d. h. der mit Beibehaltung der Richtung erfolgten Annäherung oder Entfernung der Fläche vom Mittelpunkte des ſymmetriſch gedachten Kryſtalls.

So findet man z. B., wenn man Subſtanzen, welche im regulären Octaëder kryſtalliſiren (Alaun, Magneteiſen), näher unterſucht, faſt immer, daß das Octaëder verzerrt iſt, daß die Flächen Dreiecke, Vierecke, Fünfecke oder Sechsecke bilden, Formen, welche immer entſtehen, wenn man das ideale Octaëder parallel einer Fläche durchſchneidet. Eben ſo findet man kaum jemals einen Würfel, deſſen Flächen wirkliche Quadrate, ein Dodecaëder, wo ſie wirklich Rhomben wären, ein Quadratoctaëder, deſſen Baſis in der That ein Quadrat bildete. Deshalb hat die Geſtalt der Flächen nur untergeordneten Werth, und alle Beſtimmungen an Kryſtallen gehen von ihrer Richtung, d. h. ihrer gegenſeitigen

*) Zur phyſiſchen Kryſtallonomie und geometriſchen Combinationslehre. Stettin 1829. Vergl. auch Pogg. Ann. 1833. Ergänzungsb. S. 1—43.

**) Beiträge zur Kryſtallonomie von Neumann.

***) Grundriß der Mineralogie. 2 Bd. Dresden 1822 u. 1824.

****) Unterſuchungen über die Formen der lebloſen Natur von J. F. L. Hausmann. Göttingen 1821.

*****) Grundriß der Kryſtallographie. Leipzig 1826.

†) Handbuch der Mineralogie von Hoffmann, fortgeſetzt von Breithaupt. 4 Bd. Freiberg 1811—1818.

††) Handbuch der kryſtallographiſchen Chemie. Berlin 1855.

Lage aus, weil dieſe Richtung, welche ſich in den Kantenwinkeln darſtellt, eine conſtante Größe iſt.

Wir haben bereits im Anfange dieſes Artikels geſehen, daß ein Kryſtall ſich der Symmetrie oder dem allſeitigen Gleichgewichte ſeiner kryſtallographiſch gleichwerthigen Flächen, mithin dem Ideale der Vollkommenheit, um ſo mehr nähert, je langſamer und ruhiger er ſich bildet. Da man annehmen darf, ſagt Rammelsberg, daß die chemiſchen Verbindungen des Mineralreichs ſehr lange Zeiträume zu ihrer Bildung bedurften, ſo iſt es auch begreiflich, daß die Kryſtalle dort im Allgemeinen ſymmetriſcher erſcheinen, ja nicht ſelten der vollkommenen Symmetrie ſehr nahe kommen. Anders iſt es bei der willkürlich hervorgerufenen Kryſtalliſation der Körper in unſeren Laboratorien, welche in kurzer Zeit, innerhalb weniger Stunden oder Tage, vor ſich zu gehen pflegt. Haben ſich einmal Kryſtalle, oft unabſichtlich und durch Zufall, innerhalb einiger Monate oder Jahre gebildet, ſo ſind ſie meiſt von beſonderer Größe, Schönheit und Symmetrie. Die meiſten künſtlichen Kryſtalle aber tragen durch ihre Unſymmetrie ihre gleichſam übereilte Bildung zur Schau, und die Art der Verzerrung ihrer ſymmetriſchen Formen wechſelt oft mit der Natur, Concentration und Temperatur des Löſungsmittels.

Dieſer Umſtand trägt nicht wenig dazu bei, das Erkennen der Kryſtallform an künſtlichen Verbindungen häufig zu erſchweren, und dann führt erſt eine wiederholte Unterſuchung und Meſſung an verſchiedenen Kryſtallen zur Kenntniß des Syſtems, dem ſie angehören.

Ein vollkommener Kryſtall vermag ſich nur da auszubilden, wo freier Raum iſt, oder wo eine leicht nachgebende Subſtanz die freie Ausbildung nicht hinderte. Unter ſolchen Umſtänden bilden ſich ringsum mit Flächen umgrenzte Kryſtalle; das umgebende Mittel kann nachher auch erſtarren, und ſo bilden ſich eingewachſene Kryſtalle, die in dem Mittel, wie in einer hohlen Form ſich befinden. Iſt ein eingewachſener Kryſtall von einer durchſichtigen Subſtanz umgeben, ſo nennt man ihn eingeſchloſſen. Zuweilen erſcheinen die Kanten und Ecken eines Kryſtalls wie geſchmolzen; durch ſolche Abſtumpfungen entſtehen dann ſogenannte linſen-, kugel- und kegelförmige Kryſtalle. Findet der Kryſtall bei ſeiner Bildung nach einer Seite hin Widerſtand, ſo erſcheint er dann aufgewachſen. So können ſich Kryſtalle derſelben Gattung und verſchiedener Gattung zu einem regelmäßigen Ganzen verbinden. Die Kryſtalle haben ſich zuweilen gegenſeitig in der freien Ausbildung nach verſchiedenen Richtungen gehindert, und ſo entſtehen Gruppirungen von Kryſtallen, die pyramidal, treppenförmig, büſchel-, garben-, ſternförmig ꝛc. ſein können.

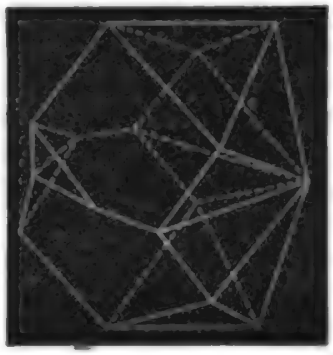
Außer den durch das Polariſationsgeſetz bedingten Ausnahmen von dem Ebenmaßgeſetze kommen noch andere Ausnahmen vor, welche durchaus unregelmäßig erſcheinen. Zuweilen fehlt eine Fläche, welche man dem Ebenmaßgeſetze gemäß erwarten ſollte, zuweilen findet ſich eine Fläche zuviel. Daß einzelne Flächen, oder mehrere gleichartige, zuweilen ſo ausgedehnt ſind, daß andere Flächen ganz oder großentheils verdrängt werden, iſt bereits vorher angedeutet.

Oft ſind Kryſtalle durch das Neben- oder Aneinander- und Zuſammen-Gewachſenſein zweier Kryſtalle entſtanden, von denen der eine gerade die umgekehrte Lage des anderen hat, ſo daß die Verbindung beider das Anſehen gewinnt,

als ob ſie aus zwei Hälften eines und deſſelben Kryſtalles beſtänden, in umgekehrter Lage an einander gefügt. Man nennt ſolche Kryſtalle hemitropiſche (v. d. griech. ἡμι, halb und τρέπειν, wenden). So findet man Hemitropien von Augit (ſ. Fig. I.); Hornblende, Gypsſpath, Feldſpath, Zinnerz (ſ. Fig. II.); Spinell (ſ. Fig. III.).

I.

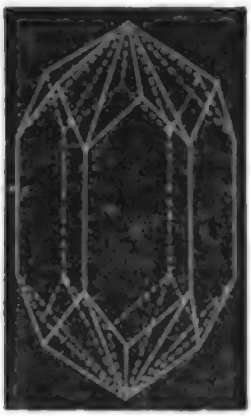
II.



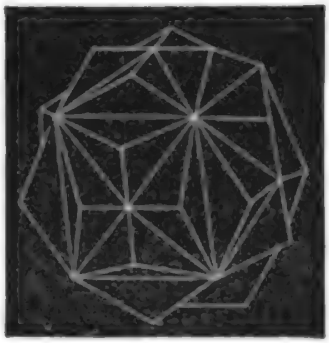
III.

Andererſeits finden ſich Doppel-Kryſtalle, bei denen ein Kryſtall den anderen zu durchdringen ſcheint und wobei Kanten oder Ecken eines jeden derſelben aus den Flächen des anderen hervorragen. Beide Kryſtalle ſind von derſelben Form und Größe, ſo daß der eine mit dem anderen bei der Betrachtung vertauſcht werden kann. Dieſe Doppel-Kryſtalle werden Zwillinge genannt, oder als Durchwachſungen bezeichnet. So ſtellt Fig. IV. einen Quarzzwilling vor, Fig. V. einen Eiſenkieszwilling und Fig. VI. einen Staurolithzwilling.

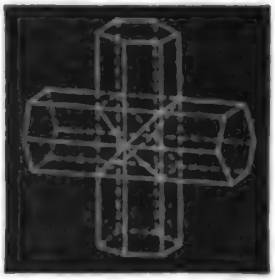
IV.



V.



VI.



VII.

Kommen geregelte Aneinanderfügungen von mehr als zwei Kryſtallen einer Varietät vor, ſo erhält man Drillinge, Vierlinge ꝛc. Fig. VII. iſt der Horizontaldurchſchnitt eines Bleiſpathdrillings.

Erfahren die Kryſtalle bei ihrer Bildung Störungen, ſo erleiden ſie demgemäß vielfache Modificationen in ihrem Gefüge ſowohl, als in ihrer äußeren Geſtalt; daſſelbe iſt der Fall in Bezug auf das Gefüge kryſtalliniſcher Maſſen.

Aus geradblättrigem Gefüge wird ſo krummblättriges, aus großblättrigem kleinblättriges, körniges, ſchuppiges, ſchaumiges. Sind Kryſtalle überwiegend nach Einer Richtung ausgedehnt, ſo entſtehen haarförmige und nadelförmige Geſtalten. Kryſtalliniſche Maſſen erſcheinen ſtrahlig, faſerig, geſtrickt ꝛc. Die Oberfläche der Kryſtalle iſt in der Regel glatt und eben; durch Störungen bei der Bildung können ſie aber auch geſtreift, druſig (mit kleinen kryſtalliniſchen Erhabenheiten), uneben (rauh oder körnig) erſcheinen.

Wird einem Stoffe einer ſeiner chemiſchen Beſtandtheile entzogen oder tritt ein neuer hinzu, ſo entſtehen Umbildungen der Kryſtallform, wenn der neu entſtandene Stoff nicht ſeine ihm natürliche Kryſtallform annimmt, ſondern die des zerſtörten Stoffes beibehält. Man nennt ſolche Bildungen Pſeudomorphoſen (unächte Geſtaltungen) oder nachgebildete Kryſtalle *).

Befand ſich ein Kryſtall in einer Umhüllung (als eingewachſen), und wird derſelbe daraus durch irgend einen Umſtand entfernt, ſo bleibt die leere Form zurück, in welche dann eine neue Subſtanz eintreten (Einfüllung) und in der Form erſtarren kann. So entſtehen feſte äußerlich kryſtalliniſch geſtaltete Maſſen ohne kryſtalliniſches Gefüge, oder mit einem Gefüge, welches der äußeren Form nicht entſpricht. Man nennt ſolche Geſtalten Afterkryſtalle oder Pſeudokryſtalle. So findet man Manganerz, Rotheiſenſtein u. ſ. f. in Formen, welche vorher von Kalkſpathkryſtallen eingenommen worden waren. Endlich können Afterkryſtalle noch durch Umhüllung entſtehen, wenn ſich ein neuer Stoff um Kryſtalle rindenartig anlegt, ohne daß eine Formänderung ſtattfindet. So ſetzt ſich z. B. Calcedon über Quarz, Hornſtein über Kalkſpath ꝛc. an.

Von der allgemeinen Regel, daß alle Kryſtalle deſſelben Stoffes von Einer gemeinſchaftlichen Grundform abgeleitet werden können, giebt es mannichfache Abweichungen. Vielmehr zeigen einige Stoffe Kryſtallgeſtalten, welche verſchiedenen Syſtemen angehören, oder doch von ſo großen Winkelverſchiedenheiten ſind, daß ſie nicht von Einer Grundform abgeleitet werden können. Muß man daher bei einer Subſtanz zwei Grundformen annehmen, ſo nennt man ſie dimorph (zweigeſtaltig), muß man deren drei annehmen, trimorph (dreigeſtaltig). Wir verweiſen auf die beſonderen Art.: Dimorph Bd. II. S. 531 und Trimorph.

Dem Dimorphismus und Trimorphismus entgegen ſteht der Iſomorphismus. Iſomorphe (gleichgeſtaltete) Stoffe nennt man diejenigen, welche für ſich Kryſtallgeſtalten von keiner oder geringer Winkelverſchiedenheit zeigen und welche in gleichem Verhältniſſe mit denſelben anderen Stoffen verbunden, dieſelben oder ſehr ähnliche Kryſtallgeſtalten geben. Auch hierüber handelt ein eigener Art.: Iſomorphismus.

Zu den uneigentlichen Kryſtallen gehören endlich noch die künſtlich gearbeiteten Nachbildungen, Modelle der verſchiedenen Kryſtallformen in Holz, Thon, Seife ꝛc., deren man ſich mit großem Vortheile bedient, um an denſelben die Lehre von den Kryſtallen zu demonſtriren. Man hat ſolche Modelle von Holz, mit den erforderlichen Schnitten verſehen, welche aus einander genommen und zuſammengeſetzt werden können. Um ſich mit Leichtigkeit die Entſtehung einer

*) Vergl. Art. Geologie. Bd. III. S. 530.

Kryſtallform aus der anderen, ihre Ableitung, zu verſinnlichen, bedient man ſich am paſſendſten geſchmeidiger Stoffe (auch feinen Thones); man ſchneidet erſt die Grundgeſtalt, und bringt dann vorſichtig an ihr die gehörigen Schnitte an, ſo daß man die abgeleitete Form erhält. Zur Unterſuchung der mathematiſchen Verhältniſſe ſind Modelle aus Draht äußerſt zweckmäßig, bei denen die Endpunkte der Drahtſtäbchen die Ecken und durch dieſe Enden gezogene Fäden die Kanten geben. Auch kann man ſich die Grundformen aus Holzſtäbchen conſtruiren, welche, in aufgequollene Erbſen geſteckt, die Kanten vorſtellen. Durch an den betreffenden Stellen befeſtigte Fäden erhält man dann die Axen und anderen Linien, z. B. die durch Schnittflächen entſtehenden Kanten.

Zuſammenſtellung a) der Mineralien und b) künſtlichen Verbindungen oder Elemente nach den Kryſtalliſationsſyſtemen *).

I. 1. a. Reguläres Syſtem:

a) Arſenikblüthe; Alaun; Analcim; Automolith; Amalgam; Borazit; Bleiglanz; Buntkupfererz; Chlorſilber; Chromeiſenerz; Diamant; Eiſen; Flußſpath; Franklinit; Fahlerz; Granat; Gold; Glanzkobalt; Hauyn; Helvin; Iſerin; Kieſelwismuth; Kupfer; Kobaltkies; Leucit; Magneteiſenerz; Merkur; Manganblende; Nickelglanz; Platin; Pyrit; Rothkupfererz; Salmiak; Steinſalz; Sodalith; Schwefelkies; Spinell; Silber; Silberglanz; Speißkobalt; Würfelerz; Zinkblende.

b) Phosphor; Kalium; Natrium; Magneſium; Titan; Cadmium; Blei; Palladium; Iridium; Kalium-, Ammonium-, Zinn-, Cadmium- und Silber-Amalgam; Goldſilber; Iridiumplatin; Nickeloxydul; Antimonoxyd; Kupferoxydul; Schwefelkupfer; Kupferchlorür; Schwefelmangan; Schwefelantimon-Schwefelnatrium (Schlippe'ſches Salz); Jod-, Brom- und Cyan-Ammonium; Chlor-, Brom-, Jod-, Fluor- und Cyankalium; Jod-, Brom- und Fluornatrium; Chlorlithion; Chloruran; Jodzink; Bromſilber; Cyanzink-, Cyankadmium-, Cyanqueckſilber- und Cyanſilber-Cyankalium; die Doppelſalze von Chlorammonium oder Chlorkalium mit Zinn-, Platin-, Palladium-, Iridium- oder Osmium-Chlorid nebſt den entſprechenden Brom- und Jodverbindungen; Borarſaures-, Chlorſaures- und Bromſaures-Natron; Salpeterſaurer Baryt und Strontian; Salpeterſaures Bleioxyd; Chlorſaures Nickeloxydul und Kupferoxyd; Bromſaures Nickeloxydul und Zinkoxyd; Bromſaure Magneſia; Chromalaun; Kampfer; Eſſigſaures Uranoxyd-Natron.

I. 1. b. Zwei- und einariges Syſtem:

a) Anatas; Apophyllit; Blättertellur; Chlormercur; Ferguſonit; Gehlenit; Gelbbleierz; Hausmannit; Kupferkies; Melilith; Rutil; Scheelbleierz; Scheelit; Skapolith; Uranglimmer; Veſuvian; Zinnerz; Zirkon.

b) Strontianhydrat; Barythydrat; Zweifach Schwefel-Wismuth; Drittel-Arſenikkickel (kryſt. Kobaltſpeiſe); Calomel; rothes Queckſilberjodid, Kupferchlorid-Chlorkalium und Chlorammonium, Phosphorſaures Kali und Ammonium-

*) Eine tabellariſche Ueberſicht des Kryſtallſyſtems der einfachen Stoffe und ihrer Verbindungen nach der Zuſammenſetzung enthält: Handbuch der kryſtallographiſchen Chemie von Rammelsberg. Berlin 1855. Vergl. auch Kopp's Kryſtallographie. Braunſchweig.

oxyd; Arſenſaures Kali und Ammoniumoxyd; Schwefelſaures Nickeloxydul und Silberoxyd-Ammoniak; Selenſaures Nickeloxydul, Zinkoxyd und Silberoxyd-Ammoniak; Chromſaures Silberoxyd-Ammoniak; Paraſulfat-Ammon. Aus den organiſchen Verbindungen: Queckſilbercyanid; Ferrocyankalium (Blutlaugenſalz); Ferrocyanammonium; Honigſteinſaure Thonerde; Ameiſenſaurer Strontian; Eſſigſaure Kupferoxyd-Kalkerde, Eſſigſaures Uranoxyd-Kali; Eſſigſaures Uranoxyd-Silberoxyd, Hämatoxylin.

I. 1. c.

a) Atakamit; Aragonit; Anhydrit; Anthophyllit, Andaluſit; Amblygonit; Allanit; Antimonoxyd; Antimonglanz; Antimonſilber; Arſeneiſen; Arſenkies; Auripigment; Bitterſalz; Bleiſulphat; Bleicarbonat; Baryt; Brauneiſenerz; Bournonit; Cöleſtin; Chiaſtolith; Chryſoberyll; Chryſolith; Cordierit; Desmin; Euchroit; Harmotom (?); Hyperſthen (?); Jameſonit; Kaliſalpeter; Kaliſulphat; Kryolith; Kupferglanz; Libethenit; Lirokonit; Lazulith; Liävoit; Mascagnin; Melanglanz; Markaſit; Manganit; Nadelerz; Natrolith; Olivenit; Polyhalit; Prehnit; Phillipſit; Petalit (?); Polymignit; Pyroluſit; Skorodit; Strontianit; Spodumen; Sauſſurit (?); Staurolith; Schrifterz; Schilfglaserz; Schwefel; Thermonatrit; Topas; Tantalit; Witherit; Wawellit; Wismuthglanz; Zinkſilicat.

b) Schwefel aus Auflöſungen; Jod; Bleioxyd; Queckſilberjodid; Queckſilberchlorid (Sublimat); Chlorbaryum; waſſerhaltiges Brombaryum; ſelenſaures Kali, Natron und Silberoxyd; ſelenſaure Magneſia; chromſaures Kali; chromſaure Magneſia; manganſaures Kali; übermanganſaurer Baryt; übermanganſaures Kali und Ammoniumoxyd; ſchwefelſaures Ammoniumoxyd, Silberoxyd und Nickeloxydul (Nickelvitriol); ſalpeterſaures Ammoniumoxyd, Uranoxyd und Silberoxyd; unterſchwefelſaurer Baryt; zweifachkohlenſaures Ammoniumoxyd; überchlorſaures Kali und Ammoniumoxyd; phosphorſaures Natron; arſenikſaures Natron u. a. Aus den organiſchen Verbindungen: Citronſäure; zweifach äpfelſaures Ammoniumoxyd; zweifach äpfelſaurer Kalk; ameiſenſaurer Baryt; oxalſaures Ammoniumoxyd; zweifach oxalſaures Ammoniumoxyd, Weinſtein, zweifach weinſaures Ammoniumoxyd; Seignettſalz; weinſaures Natron-Ammoniumoxyd; Brechweinſtein u. a.

I. 2. d. Zwei- und eingliederiges Syſtem.

a) Amphibol; Antimonblende; Augit; Brewſterit; Bronzit; Chondrodit; Columbit; Datholith; Eiſenvitriol; Epidot; Euklas; Feldſpath; Gadolinit; Gayluſſit; Glauberit; Glauberſalz; Gyps; Kaliglimmer; Kieſelmangan (?); Kobaltblüthe; Kobaltvitriol; Kupferlaſur; Laumontit; Leadhillit; Malachit; Miargyrit; Natron; Orthoklas; Phosphorchalcit; Pyroxen; Rothbleierz; Realgar; Skolezit; Stilbit; Sanidin; Sphen; Tinkal; Trona; Vivianit; Wolfram.

b) Schwefel (geſchmolzen und abgekühlt); Eiſenchlorür; waſſerhaltiges Chlornatrium; Brom- und Jodnatrium; Chlorlithium; zweifach kohlenſaures Kali und Ammoniumoxyd; kohlenſaures Kali; kohlenſaure Magneſia; zweifach kohlenſaures Ammoniumoxyd; chlorſaures Kali; chlorſaurer Baryt; phosphorſaures Ammoniumoxyd, Natron, Natron-Kali und Natron-Ammoniumoxyd; arſenikſaures Ammoniumoxyd, Natron, Natron-Kali und Natron-Ammoniumoxyd; zweifachſchwefelſaures Kali; chromſaures Natron; ſchwefelſaures Cadmiumoxyd, Kupferoxyd und Nickeloxydul; alle Doppelſalze aus neutralem ſchwefelſauren Salze von

Magneſia, Manganoxydul, Zinkoxyd, Cadmiumoxyd, Eiſenoxydul, Kobaltoxydul, Nickeloxydul, Kupferoxyd mit ſchwefelſaurem Kali oder Ammoniumoxyd und 6 Atomen Waſſer; unterſchwefligſaures Natron, ſalpeterſaurer Strontian. Aus den organiſchen Verbindungen: Oxalſäure; Weinſäure; eſſigſaures Natron und Zinkoxyd; Grünſpan; Bleizucker; eſſigſaurer Baryt; ameiſenſaures Kupferoxyd und Cadmiumoxyd; die oxalſauren Doppelſalze von Eiſenoxyd, Chromoxyd, oder Thonerde und Kali oder Ammoniumoxyd; neutrales weinſaures Kali und Ammoniumoxyd; Ferrid-Cyankalium und Cyanammonium; Kalium-Kobaltcyanid, Mangancyanid und Chromcyanid, Zucker (Rohr- und Rübenzucker); Taurin, Asparagin u. a.

I. 2. e. Ein- und eingliederiges Syſtem.

a) Albit; Anorthit; Arinit; Babingtonit; Diſthen (?); Kupfervitriol; Labrador; Lithionglimmer (?); Pyrallolith; Saſſolin; Schillerſpath; Wollaſtonit (?).

b) Selenſaures Kupferoxyd; ſchwefelſaures Manganoxydul; zweifach chromſaures Kali und Silberoxyd. Aus den organiſchen Verbindungen: Traubenſäure; Gallusſäure; bernſteinſaures Natron; vierfach oxalſaures Kali und das entſprechende Ammoniumoxydſalz.

II. f. Drei- und einariges Syſtem.

a) Alunit; Antimon; Apatit; Arſen; Beryll; Bleiniere; Braunſpath; Chabaſit; Cerit; Chloramelan; Dioptas; Eis; Eiſenſpath; Eugenglanz; Galmei; Gmelinit; Graphit; Kalkſpath; Korund; Kupferglimmer; Manganſpath; Magneſiaglimmer; Mimeteſit; Magnetkies; Molybdänglanz; Natronſalpeter; Nephelin; Phakolith; Pyromorphit; Phmakit; Quarz; Rotheiſenerz; Rothnickelkies; Rothzinkerz; Silberblende; Talk; Talkſpath; Tellur; Tellurwismuth; Turmalin; Titaneiſenerz; Wismuth; Zinnober.

b) Zink; Osmium-Iridium; Zinkoxyd; Bleiſuperoxyd; Chromoxyd; Magneſiahydrat; die Verbindungen von Platinchlorid mit Chlormagneſium, Mangan, Zink, Eiſen, Kupfer, Nickel oder Kobalt; Platinbromid-Bromzink; ſalpeterſaures Natron; ſchwefelſaures Natron-Lithion; unterſchwefelſaurer Strontian und Kalk; unterſchwefelſaures Bleioxyd, arſenikſaures Bleioxyd, arſenikſaurer Kalk; phosphorſaures Bleioxyd; Chlor- und Fluorblei; Chlorcalcium. Aus den organiſchen Verbindungen: Ferrocyanammonium-Chlorammonium und Bromammonium; Ferrocyankalium-Baryum; die Verbindungen von Traubenzucker (Stärke- oder Harnzucker) mit Chlornatrium, Aldehyd-Ammoniak. H. E.

Kryſtallelektricität, ſ. Thermoelektricität.

Kryſtallographie, ſ. Kryſtall.

Küſtenklima, ſ. Klima.

Kupfer *), cuprum, aes cyprium, cuivre, copper, ein Metall. Chemiſches Zeichen Cu. Aequivalent = 395,6 (O = 100) oder 31,7 (H = 1).

*) Von den älteren Arbeiten über das Kupfer und ſeine Verbindungen ſind beſonders zu erwähnen die von Proust: Ann. de Chim. T. XXXII. p. 26. Journ. de Phys. T. LIII. p. 89. T. LIX. p. 393. T. LXXIX. p. 126. Crell's chem. Ann. 1800. Bd. I. S. 39. Scherer's Journ. Bd. IX. S. 388. Gilb. Ann. Bd. XXV. S. 164. Gehler's n. Journ. 1805. Bd. VI. S. 552.

Das Kupfer gehört zu den am längſten bekannten Metallen. Im Alterthum wurde es faſt allein von der Inſel Cypern (*Κυπρος*) bezogen *) und daher ſtammt auch der lateiniſche Name. Weil dieſe Inſel der Venus geheiligt war, belegten die Alchemiſten in ihrer bilderreichen Sprache das Metall mit dieſem Namen. — Nach dem Eiſen iſt das Kupfer das nützlichſte und in der Natur verbreitetſte Metall. Es findet ſich gediegen und zwar häufig in Geſellſchaft anderer Kupfererze, meiſt derb, dendritiſch in Veraſtelungen oder eingeſprengt in flachen Blättern, bisweilen auch in deutlich ausgebildeten Kryſtallen (Octaëdern). Gediegen Kupfer kommt namentlich in Schweden, Sibirien und Nordamerika vor: ſelten jedoch in größeren Maſſen. Am oberen See jedoch ſcheinen ſolche bis zu 100, 1000, 1500, ja ſelbſt 2000 Pfund nicht zu den Seltenheiten zu gehören **). In der cliffe mine am Eagle-River hat man ſogar einen Block von 1000 Centnern Gewicht gefunden ***). Auch in Ungarn bei Reesk fand man in neueſter Zeit einen 30 Pfd. ſchweren Klumpen gediegenen Kupfers ****). In den Minen von Coquimbo kommen nach Field *****) Legirungen von Kupfer und Silber vor mit einem Gehalt von 1,09 und 7,60 Proc. Silber. Weit häufiger aber kommt das Kupfer in Verbindung mit Sauerſtoff und Schwefel oder anderen Schwefelmetallen vor. Aus dieſen Verbindungen wird auch das Kupfer dargeſtellt. Die wichtigſten Kupfererze ſind:

	Chemiſche Formel:	Gehalt an Cu in 100 Th.
1) Kupferglanz (Kupferglaserz)	$Cu^2 S$.	79,7.
2) Kupferkies	$Cu^2 S$, $Fe^2 S^3$.	34,8.
3) Buntkupfererz	$3\,Cu^2 S$, $Fe^2 S^3$.	55,7 — 70 und mehr, wenn Kupferglanz beigemengt iſt.
4) Enargit	$3\,(Cu^2 S, FS, ZnS) + (AsS^5, SOS^5)$.	14 — 41.
5) Fahlerz	$4\,(Cu^2 S, FeS, ZnS, AgS), (SbS^3, As^2 S^3)$.	47,2 †).
6) Rothkupfererz	$Cu^2 O$.	88,5.
7) Malachit	$2\,CuO, CO^2 + HO$.	57,4.
8) Kupferlaſur	$2\,(CuO, CO^2) + CuO, HO$.	55,3.

Noch haben wir hier den Kupferſchiefer oder bituminöſen Mergelſchiefer anzuführen, der namentlich in der Grafſchaft Mansfeld ††), in Thüringen und Kurheſſen auftritt und hier Gelegenheit zu einem einträglichen Bergbau giebt. Der Hauptſache nach tritt hier Eiſen und Kupfer auf; das letztere in den verſchiedenartigſten Verbindungen und nebenbei auch noch Silber, Zink, Kobalt,

*) Plinius XXXIV. 20, XXXVI. 26.

**) Gilbert's Ann. Bd. LXX. S. 337. Silliman, Americ. Journ. [2] Vol. III. p. 2. Vol. IV. p. 113. Compt. rend. T. XXVIII. p. 161.

***) Silliman, Americ. Journ. [2] Vol. VII. p. 286.

****) Haidinger's Ber. über die Mitth. von Freund. d. Naturw. Bd. VI. S. 149. Jahrb. d. k. k. öſterr. geolog. Reichsanſt. 1850. S. 143.

*****) Quart. Journ. of the chemic. soc. Vol. III. p. 29.

†) Kommt namentlich in der Grube San-Francisco bei Morococho auf den Cordilleren vor und wird in großen Quantitäten auf Kupfer verhüttet. Pogg. Ann. Bd. LXXX. S. 383.

††) Freiesleben, geognoſtiſcher Beitrag zur Kenntniß des Kupferſchiefer-Gebirges. 4 Bände. Freiberg 1807 — 18.

Nickel, Blei und Wismuth. 48 Centner der Mansfelder Schiefer liefern 70 bis 220 Pfd. Kupfer und der Centner Kupfer enthält 6 bis 24 Loth Silber.

Außerdem kommen noch zahlreiche andere Verbindungen des Kupfers mit Selen, Chlor, Schwefel-, Phosphor-, Arsen-, Chrom- und Kieselsäure, jedoch nur in untergeordneten Mengen vor. Silber, Gold, Platin und Eisen finden sich stets in geringen Mengen im Kupfer, wie dies der Herzog von Leuchtenberg in dem Niederschlage, der sich bei der Zersetzung der Kupfersalze durch den galvanischen Strom an der Anode absetzt, nachgewiesen hat *). In 100 Th. desselben waren: 90,2 Silber, 4,8 Gold und 2 2 Platin enthalten. Später hat derselbe auch noch Blei, Nickel, Kobalt und Vanadin darin gefunden **).

Die Verbreitung des Kupfers in der Natur geht noch weiter. Man hat nachgewiesen, daß das Kupfer in kleinen Mengen in manchen Bodenarten, Mineralquellen, im Meerwasser, ja auch in Pflanzen ***) und Thieren vorkomme. In Bezug auf letztere ist es mit Sicherheit nur für das Blut der niederen festgestellt ****), das, in Folge des Kupfergehaltes, an der Luft blau wird. Entweder fehlt hier das Eisen ganz oder das Kupfer steht zu dem Eisen im umgekehrten Verhältniß. Das Vorkommen von Kupfer in den Organen und dem Blute der höheren Thiere und des Menschen ist vielfach behauptet, aber auch vielfach bestritten worden *****). Durch die Einwirkung der Luft verwandelt sich das in der Natur vorkommende Schwefelkupfer in schwefelsaures Kupferoxyd, das von dem Grubenwasser aufgelöst und fortgeführt wird. Solche Grubenwässer nennt man Cementwässer.

Der Hüttenmann theilt die Kupfererze in zwei Klassen: ockrige (oxydische) und kiesige (geschwefelte). Je nachdem man mit der einen oder der anderen Abtheilung zu thun hat, ist auch die Methode, nach der das Kupfer im Großen gewonnen wird, eine verschiedene. Bei den oxydirten Erzen ist die Operation eine leichtere; sie kommen jedoch nur an wenigen Orten in großer Menge vor und werden daher hauptsächlich nur zu Chessy bei Lyon und auf einigen russischen Hüttenwerken verarbeitet. Durch einfache Reduction mit Kohle gewinnt man hier das Kupfer (Schwarzkupfer), das jedoch noch geringe Mengen Kohle, Schwefel, Eisen und andere Beimengungen enthält, von denen es durch den Gahrproceß (Gahrmachen) befreit wird. Zu diesem Ende wird es in einer Art von Flammofen, der einem Treibherde gleicht, geschmolzen, wobei die fremden Beimengungen durch einen Luftstrom oxydirt und abgeschieden werden. Hierbei verwandeln sich aber geringe Mengen von Kupfer in Oxydul, durch welches die Geschmeidigkeit

---

*) Petersb. acad. Bull T. VI. p. 129. Dingler's polyt. Journ. Bd. CVI. S. 35.

**) Petersb. acad. Bull. T. VII. p. 218. Dingler's polyt. Journ. Bd. CXI. S. 136. Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLV. S. 460.

***) Liebig's Jahresb. 1847 — 48. S. 1013. Ann. de Chim. et de Phys. [3] T. XXVIII. p. 129. Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLIX. S. 421. Pogg. Ann. Bd. XIX. S. 448.

****) Müller's Arch. 1847. Nr. 2. S. 48. Pharm. Centralbl. 1847. S. 489. Ann. d. Chem. und Pharm. Bd LXXXI. S. 68.

*****) Liebig's Jahresb. 1847 — 48. S. 874. Journ. de Chim. méd. [3] T. V. p. 179. Burin du Buisson, sur l'existence du manganèse dans le sang humain. Lyon 1852. Liebig's Jahresb. 1852. S. 702. Arch. d. Pharm. [2] Bd. LXXV. S. 140 und 257. Bd. LXXVI. S. 1.

und Festigkeit des Metalles bedeutend beeinträchtigt wird. Deshalb wird das Gahrkupfer (herdgahres Kupfer, Rosettekupfer) noch einmal umgeschmolzen (hammergahr gemacht), wobei sich das Kupferoxydul reducirt und ein schmiedbares (hammergahres) Kupfer resultirt.

Viel umständlicher ist die Darstellung des Kupfers aus den häufigeren Schwefelverbindungen. Der Proceß ist hier eine oft wiederholte Oxydations- und Reductionsarbeit. Zuerst röstet man die Erze wiederholt, um die flüchtigen Bestandtheile (Schwefel, Arsenik, Antimon) zu entfernen und das Eisen theilweise zu oxydiren. Dann werden die Erze mit geeigneten Zuschlägen zur Entfernung des Eisens geschmolzen (Rohsteinschmelzen), wobei man als Product den Stein, Rohstein oder Kupferstein erhält, eine Verbindung von Schwefelkupfer mit Schwefeleisen und anderen Schwefelmetallen. Der Kupfergehalt beträgt hier ungefähr 8 bis 12 Proc. Der Stein wird nun wiederum mehrmals geröstet und verschmolzen. Bei jeder Röstung oxydiren sich die Beimengungen leichter als das Kupfer und bei jeder Schmelzung (Reduction) mit Kohle wird eine größere Menge des Kupfers reducirt. War das Rösten des Rohsteins hinreichend ausgeführt, so erhält man beim Schmelzen neben dem Dünnstein, der sehr reich an Schwefelkupfer ist, schon Schwarzkupfer, das bis 96 Proc. Kupfer enthält; im entgegengesetzten Fall fällt letzterer hier noch nicht, sondern nur der Spürstein oder Concentrationsstein, ein nur wenig veränderter Rohstein, der erst nach neuem Rösten und Schmelzen Schwarzkupfer liefert. Das Schwarzkupfer wird endlich, wie schon angegeben, herd- und hammergahr gemacht.

Kommt in den Kupfererzen Silber vor, so wird mit dem Schwarzkupfer eine neue Operation, das Saigern vorgenommen, d. h. dem Kupfer das Silber durch Blei entzogen. Bei dem Kupfer (den Kienstöcken) bleibt aber noch Blei zurück, das durch abermaliges Absaigern bei Luftzutritt größtentheils entfernt wird. Der Rückstand (die Darrlinge) wird zuletzt gahr gemacht. Ueber die Gewinnung des Silbers aus den Kupfererzen siehe in dem Art. Silber.

An einigen Orten gewinnt man auch Kupfer aus den Cementwässern, indem man in solche metallisches Eisen hineinlegt, wodurch das Kupfer niedergeschlagen wird. Auf der Insel Anglesea und zu Schmölnitz in Ungarn werden auf diese Weise große Mengen von Kupfer (Cementkupfer) gewonnen. — Aus der Auflösung des Kupfervitriols schlägt sich mitunter auch metallisches Kupfer in großen zusammenhängenden Massen nieder, ohne daß Eisen zugegen ist *).

Da schon geringe Beimengungen von fremden Substanzen die Eigenschaften des Kupfers bedeutend verändern, ja für manche Zwecke ganz unbrauchbar machen, so verwendet man auf die Entfernung derselben große Sorgfalt, so daß namentlich das Kupferblech hinreichend rein ist zu der Darstellung der verschiedenen Präparate. Das russische Kupfer wird als das reinste angesehen. In wie weit bei der Darstellung des Kupfers im Großen die Reinheit erreicht wird, lehren die nachstehenden Analysen:

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. XVI. S. 261. Pogg. Ann. Bd. III. S. 195. Schweigger's neues Journal. Bd. XVI. S. 372. Bd. XVII. S. 325. Bd. XXVIII. S. 40.

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	
Kupfer	99,56	99,84	99,60	98,65	98,25	99,31	98,73.
Blei	—	—	Spur	0,75	1,09	0,21	0,74.
Silber	0,30	Spur	Spur	0,23	0,13	0,10	0,06.
Nickel	—	—	—	—	0,23	0,28	Spur.
Eisen	0,10	0,05	0,02	0,05	0,13	0,02	0,07.
Aluminium	—	—	0,09	0,02	0,05	—	—
Calcium	—	0,06	—	0,09	0,10	0,04	0,09.
Magnesium	—	—	—	0,03			
Kalium	—	—	—	0,12	—	0,04	0,17.
Kiesel	—	—	—	0,05	—	—	—
Schlacke	—	—	0,03	—	—	—	—

I. Gediegen Kupfer von Brasilien nach Marchand und Scheerer, enthielt noch 0,08 Gold; II. Cementkupfer von Stadt Berge, nach Bromeis; III. Norwegisches Blockkupfer, nach Gerth, enthielt noch 0,27 Zinn; IV. Schwedisches Scheibenkupfer, nach v. Kobell; V. Mansfelder Gahrkupfer, nach v. Kobell; VI. Gahrkupfer von der Friedrichshütte bei Riechelsdorf, nach Gerth; VII. Japanisches Kupfer, d. h. englisches, das für die Ausfuhr nach Ostindien bestimmt ist, nach Gerth, enthielt noch 0,14 Kobalt und Spuren von Nickel und Arsen.

Chemisch reines Kupfer stellt man am Besten aus reinem Kupferoxyd dar, das man bei geringer Hitze in einem Strom von Wasserstoffgas reducirt und darin erkalten läßt. Oder indem man sich aus reinem Kupfervitriol das kohlensaure Salz darstellt und dieses durch Harz und Kohlenstaub oder gleichfalls durch Wasserstoffgas reducirt. Das auf galvanischem Wege niedergeschlagene Kupfer ist gleichfalls rein; hier kann man es auch in zusammenhängenden Stücken erhalten. Nach Osann*) wird das durch Reduction mittelst Wasserstoffgas erhaltene fein zertheilte Kupfer durch Pressen so dicht, als ob es gehämmert wäre. Nach der Erfindung der Galvanoplastik gab diese Eigenschaft Osann Gelegenheit aus solchem fein zertheilten Kupfer gleichfalls Medaillen und ähnliche Gegenstände durch Druck herzustellen. Wenn Osann auch verschiedene Vorzüge aufzählt, welche dieses Verfahren vor der eigentlichen Galvanoplastik haben soll, so wird doch die Anwendung desselben immer eine beschränkte bleiben; zumal die gewöhnliche Prägung vorzuziehen ist, da die geschlagenen Stücke mit vollem Metallglanz aus dem Prägstock hervorgehen. — Das durch Wasserstoffgas reducirte und feinzertheilte Kupfer ist außerordentlich elektrisch; in Chlorgas entzündet es sich schon bei gewöhnlicher Temperatur und verbrennt mit weißer Flamme.

Das Kupfer zeichnet sich unter den Metallen durch seine Farbe aus, nur das Titan ist ihm darin ähnlich. Die dunkele Farbe, die man an verarbeitetem Kupfer wahrnimmt, rührt jedoch von einem Ueberzuge von Kupferoxydul her. Die eigentliche Farbe des Kupfers ist sehr hell, wie sie das durch Wasserstoffgas reducirte Kupfer zeigt. Bemerkenswerth ist noch der starke Glanz und der Klang, den das Kupfer besitzt. Es krystallisirt in Würfeln und Octaëdern. Spec. Gewicht, je nach der Reinheit des Kupfers verschieden, 8,66 bis 8,78, des gewalzten oder

*) Pogg. Ann. Bd. LII. S. 406.

geſchmiedeten 8,87 bis 8,95. An Geſchmeidigkeit und Dehnbarkeit übertrifft es das Eiſen, an Zähigkeit ſteht es dieſem wenig nach; aber auch dieſe Eigenſchaften hängen ſehr von der Reinheit des Kupfers ab. Guyton de Morveau giebt an, daß ein Kupferdraht von 0,887 Par. Linien bei einer Belaſtung von 280,7 Pfund riß. Die Feſtigkeit hängt zwar auch hier, wie bei allen Metallen von der Temperatur ab, jedoch ändert ſie ſich weniger raſch wie die Temperatur *). Das Kupfer beſitzt die Eigenſchaft ſich ſchweißen zu laſſen. Es iſt ein ſehr guter Leiter der Wärme und Elektricität **). Beim Erwärmen von 0° bis 100° dehnt es ſich um $^1/_{550}$ aus. Sein Schmelzpunkt liegt zwiſchen dem des Silbers und des Goldes, nach Daniell bei 1092°, nach Plattner bei 1173° C. Spec. Wärme = 0,9515. Vor dem Knallgasgebläſe verflüchtigt ſich das Kupfer und verbrennt mit grüner Farbe.

Außer zu Platten für den Kupferſtich wird das Kupfer zu den verſchiedenſten Geräthen verarbeitet. Man bedient ſich deren auch in der Küche, doch iſt hier große Vorſicht anzurathen. Das Kupfer zeigt zwar eine geringe Neigung ſich mit dem Sauerſtoff zu verbinden, aber in feuchter, kohlenſäurehaltiger Luft orydirt es ſich doch. Nur zu oft nehmen wir an kupfernen Geräthen einen grünlichen Ueberzug wahr, den man im gewöhnlichen Leben fälſchlich Grünſpan nennt. Es iſt dies kohlenſaures Kupferoxydhydrat. Der grüne Beſchlag iſt beſonders der Geſundheit ſchädlich, weil er ſich ſehr leicht in Säuren und ſelbſt in Fett auflöſt. Daher muß man bei dem Gebrauch ſolcher Geräthe ſtets darauf achten, daß die Oberfläche durchaus blank iſt. Dann kann man ohne Furcht ſaure Speiſen in kupfernen Keſſeln kochen; durch die ſchwachen Säuren, die man gewöhnlich in der Küche verwendet, wird oxydfreies Kupfer nicht aufgelöſt, ſo lange, während des Kochens, der Waſſerdampf den Zutritt der Luft abhält. Aber erkalten darf man die Speiſen in kupfernen Geräthen nicht laſſen, weil dann eine Vergiftung eintreten kann. Solche erkennt man ſehr leicht durch eine polirte Meſſerklinge, die man in die verdächtige Speiſe ſtellt; iſt Kupfer zugegen, ſo ſchlägt es ſich metalliſch auf die Meſſerklinge nieder und man erblickt darauf einen glänzend-rothen Ueberzug.

Um ſich vor Vergiftungen zu ſichern, überzieht man die Oberfläche kupferner Geräthe mit einer dünnen Lage Zinn. Zu dieſem Ende muß die Oberfläche vollſtändig durch Scheuern mit Schwefelſäure und Sand von allem Oxyd befreit werden, dann wird das Geräth erhitzt und man zerreibt geſchmolzenes Zinn mit einem Wergpauſch über die ganze Oberfläche, nachdem man etwas Salmiakpulver oder Kolophonium aufgeſtreut hat. Vor dem Kupfer iſt man freilich dadurch geſchützt, aber das Zinn ſelbſt iſt nicht ganz unverdächtig und zwar findet in Folge der Berührung mit Kupfer hier eine raſchere Abnutzung (Auflöſung) des Zinns ſtatt, als es für ſich allein erfährt.

Kupferoxyd bildet ſich nur in ſtarker Hitze (Kupferaſche, Kupferhammerſchlag), bei geringerer entſteht nur Oxydul, das der Einwirkung der Luft und der Feuchtigkeit beſſer widerſteht, als das Kupfer ſelbſt. Daher überzieht man gewiſſe Gegenſtände auch mit dieſem Ueberzuge, den man rothe Bronze nennt, entweder

*) Ann. de Chim. et de Phys. [3] T. XXX. p. 304.

**) Ueber den Magnetismus des Kupfers ſiehe Pogg. Ann. Bd. III. S. 343. Bd. VII. S. 205. 214. 215. Bd. LIV. S. 59. 326. 329. 332.

dadurch, daß man ihn mit einem Gemenge von Eisenoxyd und Wasser überstreicht, darauf erhitzt und dann reinigt oder daß man ihn mit einer sehr verdünnten Auflösung von 2 Th. Grünspan und 1 Th. Salmiak in Essig einige Minuten kocht.

Man bedient sich des Kupfers auch als Beschlag für die Schiffe *). Durch das Meerwasser wird es aber stark angegriffen. Als Schutzmittel dagegen schlug Davy vor, Eisen darauf anzubringen und dadurch das Kupfer — elektrisch zu machen. Das Uebel wurde auf diese Art zwar gehoben, aber ein anderes stellte sich ein. Es lagerten sich auf den Schiffsbeschlägen Massen von kohlensaurem Kalk und Magnesia ab und hierauf siedelten sich wieder Pflanzen und Thiere an, wodurch man genöthigt wurde, die eisernen Platten bedeutend zu verkleinern.

Zum Guß kann das Kupfer für sich allein nicht verwendet werden, weil es beim Schmelzen Sauerstoff absorbirt, wodurch beim Erkalten Blasen entstehen, indem der Sauerstoff erst kurz vorm Erstarren anfängt zu entweichen, so daß nach dem Erkalten selbst noch Gasblasen in dem Metall zurückbleiben. Dies ist auch die Ursache des sogenannten Spratzens bei der Darstellung des Kupfers im Großen. Der Sauerstoff entweicht hier unter Zischen mit solcher Heftigkeit, daß er Kupfertheilchen mit in die Höhe reißt und umherschleudert (Kupferregen, Kupferrauch, Spritzkupfer). Das plötzliche Entweichen der eingeschlossenen Luft ist gleichfalls die Ursache der heftigen Explosionen, die entstehen, wenn man lange Zeit hindurch geschmolzenes Kupfer in Wasser gießt oder mit Wasser begießt.

Das Wasser und auch säurehaltiges Wasser wird vom Kupfer selbst nicht in der Glühhitze zersetzt. Wasserstoffsäuren werden gleichfalls kaum zerlegt; anders aber ist es beim Zutritt der Luft. Concentrirte Schwefelsäure wirkt nur in der Hitze auf Kupfer ein unter Entstehung von schwefliger Säure. Das beste Lösungsmittel für Kupfer ist die Salpetersäure, welche dasselbe schon in der Kälte angreift.

Von den Verbindungen des Kupfers mit Sauerstoff kennen wir 4: Kupferoxydul, das Oxyd, das Superoxyd und die Kupfersäure.

Kupferoxydul Cu^2O findet sich in der Natur als Rothkupfererz in Octaëdern und Würfeln oder haarförmig als Kupferblüthe. Der Methoden, das Kupferoxydul darzustellen, giebt es mehrere. Man glüht ein Gemenge von Kupferfeilspänen oder fein vertheiltem Kupfer und Kupferoxyd oder schichtet statt dessen dünnes Kupferblech mit Kupferoxyd und glüht ($Cu + CuO = Cu^2O$). Kupferoxyd und Kohlenpulver, in dem Verhältniß von 4 Aequiv. zu 1 Aequiv. gemengt und bei abgehaltenem Luftzutritt scharf geglüht, wird nach Vogel jun. sehr vollständig zu Kupferoxydul reducirt ($4\,CuO + C = 2\,Cu^2O + CO^2$). Durch Traubenzucker wird das Kupferoxyd gleichfalls reducirt. Man versetzt eine Auflösung von schwefelsaurem Kupferoxyd mit so viel Traubenzucker, daß Kalilauge, welche man alsdann hinzusetzt, keinen Niederschlag hervorbringt oder den anfangs entstandenen wieder verschwinden macht. In der Kälte scheidet sich das Oxydul nach längerer Zeit krystallinisch aus, beim Erwärmen aber tritt die Reaction sofort ein. Nach Becquerel kann man das Kupferoxydul in kleinen glänzenden Würfeln erhalten, wenn man in eine Lösung von salpetersaurem Kupferoxyd etwas Kupferoxyd schüttet, dann einen Kupferstreifen hineinstellt und das Ganze luftdicht ver-

*) Pogg. Ann. Bd. III. S. 211. 217. 219. Bd. IV. S. 466.

schlossen längere Zeit ruhig stehen läßt. Solche Krystalle findet man bisweilen auf antiken Gegenständen, die lange Zeit in der Erde gelegen haben.

Die Farbe des Kupferoxyduls ist ein schönes Roth, je reiner es ist, um so mehr nähert sie sich dem Karmin. In der Rothglühhitze schmilzt das Kupferoxydul, an der Luft verändert es sich nicht, durch Kohle und Wasserstoffgas wird es reducirt. Spec. Gewicht 5,06. In Ammoniak löst es sich farblos auf, die Lösung wird aber bei Luftzutritt sogleich blau gefärbt. In überschüssiger Salzsäure wird es ebenfalls gelöst (Kupferchlorür), durch Zusatz von überschüssigem Kalihydrat fällt Kupferoxydulhydrat, ein pomeranzengelbes Pulver, nieder, das sich aber sehr leicht an der Luft höher oxydirt. Durch verdünnte Säuren wird das Kupferoxydul in Oxyd und Oxydul zerlegt; als Oxydul verbindet es sich mit den meisten Säuren nur dann, wenn es im Entstehungsmoment mit ihnen zusammen kommt. Die Kupferoxydulsalze sind jedoch sehr wenig gekannt.

Das Kupferoxydul giebt ein sehr gutes Mittel ab den Traubenzucker von Rohrzucker zu unterscheiden, weil durch letzteren die Reduction des Oxydes nicht bewirkt wird, wenigstens nicht in der Kälte. Man bedient sich seiner ferner zum Bronziren und zum Färben des Glases. Letztere Farbe ist rubinroth und so intensiv, daß man das auf diese Weise gefärbte Glas nur als Ueberfangsglas verwendet.

Das Kupferoxyd CuO kommt in der Natur als Kupferschwärze, meist als Anflug auf Kupferkiesen vor. Sonst entsteht es, wenn Kupfer bei Luftzutritt geglüht wird, wobei es sich mit schwarzen Schuppen überzieht (Kupferasche oder Kupferhammerschlag). Meistens wird es dargestellt durch Glühen von Kupferoxydhydrat, kohlensaurem oder salpetersaurem Kupferoxyd. Krystallinisch in kleinen glänzenden Tetraëdern erhält man das Kupferoxyd nach Becquerel, wenn man 1 Th. desselben mit 4 bis 6 Th. Kalihydrat im Silbertiegel schmilzt und recht langsam erkalten läßt. Durch Wasser wird das Kali und das pulverförmige Oxyd fortgeschafft.

In Ammoniak löst sich das Kupferoxyd nicht auf, leicht aber in Fetten oder fetten Oelen, die schon durch das Verweilen in kupfernen Gefäßen grün gefärbt werden. Letztere dienen sogar die Gegenwart von Kupfer, z. B. in Branntwein, der aus einer kupfernen Blase abgezogen ist, zu erkennen. Das Kupferoxyd schmilzt in starker Hitze, verliert hierbei aber einen Theil seines Sauerstoffs. Spec. Gew. 6,09 bis 6,40. Ausgezeichnet ist das Kupferoxyd wegen der Leichtigkeit, mit der es reducirt wird, nicht allein durch Wasserstoffgas, sondern auch durch Kohlenwasserstoffe, Kohlenoxyd, Ammoniak, so wie durch alle organischen Verbindungen, weshalb man auch das Kupferoxyd bei der Elementaranalyse verwendet. Glas wird durch Kupferoxyd grün gefärbt.

Das Kupferoxyd ist eine starke Base. Bei Gegenwart von Wasser ist die Farbe der Kupferoxydsalze eine blaue oder grüne, während die wasserfreien Salze eine weiße, zum Theil auch eine braune Farbe besitzen. Tröpfelt man die Lösung eines Kupferoxydsalzes in kalte verdünnte kaustische Lauge, so bildet sich ein bläulich-grüner Niederschlag von Kupferoxydhydrat (CuO, HO), der in der Wärme aber sehr leicht das Wasser abgiebt und eine schwarze Farbe annimmt. Das einmal getrocknete Kupferoxydhydrat verträgt höhere Temperaturen, bevor es das Wasser fahren läßt. Durch Ammoniak oder kohlensaures Ammoniak im Ueberschuß werden die Kupferoxydsalzlösungen intensiv blau gefärbt. Dies ist eine der empfindlichsten Reactionen auf Kupfer. Durch kohlensaure Alkalien entsteht ein

blauer Niederſchlag von kohlenſaurem Kupferoxydhydrat, welches beim Kochen durch Waſſerverluſt ſchwarz-braun wird. Blutlaugenſalz bewirkt einen ſehr ausgezeichneten braunen Niederſchlag oder bei zu großer Verdünnung, in der ſelbſt Ammoniak keine Veränderung hervorruft, wenigſtens eine rothe Färbung. Schwefelwaſſerſtoff, ſelbſt aus ſehr ſauren Auflöſungen, und Schwefelammonium fällen ſchwarzbraunes Schwefelkupfer. Jodkalium erzeugt darin einen Niederſchlag von Kupferjodür ($2\,(CuO, SO^3) + 2\,KJ = 2\,(KO, SO^3) + Cu^2\,J + J$, welches letztere ſich in dem überſchüſſig zugeſetzten Jodkalium auflöſt). Viele organiſche Verbindungen bewirken eine Reduction der Oxydſalze zu Oxydulſalzen, jedoch ſelbſt beim Kochen nur langſam und unvollſtändig, wenn die Löſungen neutral ſind, weit ſchneller, wenn ſie freies Alkali enthalten. Traubenzucker fällt unter dieſen Umſtänden bereits in der Kälte alles Oxyd als Oxydul. Durch Weinſäure oder andere nicht flüchtige organiſche Verbindungen werden manche Reactionen der Kupferoxydſalze verdeckt, ſo z. B. die mit Kali. Blutlaugenſalz und Schwefelwaſſerſtoff verſagen hier ihre Dienſte nicht; am beſten iſt hier aber ein blankes Eiſen, nur muß die Löſung ſchwach angeſäuert werden. Auf dieſe Art wird noch 1 Theil Kupfer in 150000 Th. der Löſung angezeigt. Nur die weingeiſtige Löſung des ſalpeterſauren Kupferoxydes und die wäſſerige Löſung deſſelben Salzes, ſobald ſie neutral iſt oder Silber in geringen Mengen enthält, werden durch Eiſen nicht gefällt. Zink, Kadmium, Zinn, Blei, Wismuth fällen ebenfalls das Kupfer metalliſch, eben ſo Phosphor. Der Alkoholflamme geben die Kupferſalze eine blaue oder grüne Farbe. Glasflüſſe werden dadurch blaugrün oder grün gefärbt, eben ſo die Phosphorſalz- oder Borarperle in der äußeren Löthrohrflamme. Dieſelbe Wirkung bringt auch das reine Oxyd hervor. Durch Zinn wird die Farbe der Perle zerſtört; das Kupferoxyd wird reducirt und beim Erkalten nimmt die Perle eine rothe oder rothbraune Färbung an.

Die meiſten Kupferoxydſalze ſind löslich in Waſſer. Sie wirken ſtark giftig. Die Wirkung wird zum Theil durch Zucker aufgehoben, beſonders aber durch Eiweiß, das eine unlösliche Verbindung damit eingeht.

Von den Kupferoxydſalzen ſind folgende die wichtigſten:

Schwefelſaures Kupferoxyd (blauer oder Kupfervitriol, Cypervitriol, blauer Galitzenſtein), $CuO, SO^3 + 5\,HO$. Man findet es in alten Grubenbauten auf der Holzzimmerung ausgewittert. Dargeſtellt wird es im Großen aus den Cementwäſſern einfach durch Abdampfen, aus dem Kupferſtein (dem erſten Product des Kupferhüttenproceſſes), dem Kupferglaserz und anderen natürlichen Schwefelverbindungen des Kupfers durch Röſten, Auslaugen und Eindampfen der Lauge, oder durch Auflöſen von Kupfer, Kupferoxyd oder kohlenſaurem Kupferoxyd in verdünnter Schwefelſäure. Außerdem reſultirt der blaue Vitriol auch noch als Nebenproduct bei verſchiedenen techniſchen Operationen; ſo beim Affiniren von guldiſchen Silbermünzen, beim Scheiden des Goldes vom Silber und Kupfer durch Kochen mit Schwefelſäure, wobei das Gold ungelöſt zurückbleibt und das gelöſte Silber durch metalliſches Kupfer niedergeſchlagen wird, ferner beim Weißſieden der Silbermünzen, auf denen durch Kochen mit Schwefelſäure eine feine Haut von reinem Silber erzeugt wird.

Der Kupfervitriol kommt in großen, lazurblauen, rhomboidalen (1 und 1gliederigen) Kryſtallen faſt rein im Handel vor. Eine Beimengung von Eiſenvitriol giebt ſich ſchon durch eine mehr grünliche Färbung zu erkennen. Von dieſer Ver-

unreinigung kann der blaue Vitriol leicht durch Umkryſtalliſiren gereinigt werden oder man oxydirt den Eiſenvitriol auch durch Salpeterſäure zu Oxyd und digerirt mit Kupferoxyd, um das Eiſenoxyd zu fällen. Im Großen bewirkt man dieſe Reinigung am beſten durch mäßiges Glühen, wodurch der Eiſenvitriol in Oxyd verwandelt wird, während der Kupfervitriol ſich nicht ſo leicht zerſetzt. Beim Auflöſen des letzteren in Waſſer bleibt das unlösliche Eiſenoxyd nicht zurück. Dieſe Reinigung wird aber ſelten ausgeführt, weil ein gemiſchter Vitriol, ſogenannter Doppelvitriol, noch immer ſehr gerne von den Färbern gekauft wird, obgleich ſie ſich dergleichen Miſchungen ſehr leicht, beſſer, weil ſtets in conſtanten Verhältniſſen, und wohlfeiler ſelbſt bereiten könnten.

Der Kupfervitriol zeigt, wie die übrigen löslichen Kupferſalze, eine ſaure Reaction. Er verwittert oberflächlich an der Luft. 4 At. Kryſtallwaſſer gehen bei 100° C. fort, das letzte Atom aber entweicht erſt bei 200° C. Das waſſerfreie ſchwefelſaure Kupferoxyd beſitzt eine weiße Farbe und eine große Verwandtſchaft zum Waſſer, das es aus der Luft begierig anzieht. — Das ſchwefelſaure Kupferoxyd kryſtalliſirt für ſich nicht, wie die iſomorphen ſchwefelſauren Salze von Eiſen, Nickel, Zink und Magneſia mit 7 At. Waſſer, ſondern nur dann, wenn es mit dieſen in beträchtlicher Menge vermiſcht wird, kryſtalliſirt es mit ihnen in den verſchiedenſten Verhältniſſen in der Form des Eiſenvitriols mit 7 At. Waſſer zuſammen. Sobald aber die Menge des Kupfervitrioles überwiegt, reſultirt ſeine Kryſtallform mit 5 At. HO, obgleich auch hierin verſchiedene Mengen der anderen iſomorphen Salze enthalten ſein können.

Man benutzt den Kupfervitriol beſonders in der Färberei zum Schwarzfärben von Tuch, Wollengarn, Filz, als Reſervage in der kalten Küpe, zum Brüniren von Eiſen, zum Färben des Goldes im Glühwachs der Goldarbeiter; große Mengen von Kupfervitriol werden zu galvanoplaſtiſchen Zwecken verwendet. Die Anſtalt des Herrn v. Kreß in Offenbach a. M. verarbeitet jährlich allein über 200 Ctr. Als Arzneimittel wird der Kupfervitriol gleichfalls verwendet. Sodann wird er auch benutzt, um verſchiedene grüne und blaue Anſtrichfarben (Berggrün, Braunſchweiger Grün, Mineralgrün, Bergblau ꝛc.) daraus darzuſtellen. Elsner hat eine Darſtellungsweiſe von ſehr ſchönen grünen Kupferfarben bekannt gemacht *), die alle Beachtung verdient, da dieſe Farben eben ſo ſchön ſind als die giftigen arſenigſauren Kupferverbindungen. Als Grundlage bei der Darſtellung dienen Auflöſungen von verſchiedenen gelben Pflanzenpigmenten, die mit Kupfervitriollöſung und dann mit Aetzkalilauge verſetzt werden, bis die über dem Niederſchlag ſtehende Flüſſigkeit farblos erſcheint. Je nach der Natur des Pflanzenfarbſtoffes erhält man verſchiedene Nüancen. So liefern z. B. Wau und Curcume eine ſchön hellgrüne, Quercitron eine tief dunkelgrüne, Gelbholz eine dunkelgrüne, Fiſetholz und Gutti eine bläulich-hellgrüne, Gelbbeeren (perſiſche Beeren) eine herrlich dunkelgrüne, Orlem eine hellgrüne, Berberisholz eine ſchön dunkelgrüne Farbe. Auch aus dem gelbgefärbten Waſſer der Flachsröſte, das gewöhnlich als völlig nutzlos fortgegoſſen wird, läßt ſich auf dieſe Art eine tief dunkelgrüne Farbe herſtellen. Zu bemerken iſt, daß der Ton der Farbe durch den Gerbſtoff, der in den Löſungen verſchiedener Pflanzen-Pigmente enthalten iſt, beeinträchtigt wird und deshalb

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XXXV. S. 377.

durch Leimlöſung entfernt werden muß. Dieſe Farben ſind gegen Licht, Alkalien und Erden ſehr beſtändig und werden wegen ihrer Wohlfeilheit und Schönheit gewiß als Anſtrich- und Tuſchfarben in der Technik Beachtung finden. Setzt man der Kupfervitriollöſung gleichzeitig Alaun zu und fällt dann mit kohlenſaurem Natron, ſo laſſen ſich verſchiedene Nüancen hervorbringen, welche faſt alle ein tieferes Grün darſtellen, als die verſchiedenen Sorten des grünen Ultramarins, die man als Erſatzfarbe für die giftigen arſenikhaltigen Kupferfarben vorgeſchlagen hat. Auf letztere Art laſſen ſich auch mit rothen Farbſtoffen recht angenehme violette Lackfarben darſtellen, die durch das Licht nichts an Reinheit und Zartheit einbüßen.

Salpeterſaures Kupferoxyd. Aus der Auflöſung des Kupfers in Salpeterſäure erhält man zwei verſchiedene Salze. Das eine ſchießt daraus in dunkelblauen prismatiſchen Kryſtallen an ($CuO, NO^5 + 3\ HO$), das andere bei niederer Temperatur in hellblauen tafelförmigen Kryſtallen ($CuO, NO^5 + 6\ HO$). Die Kryſtalle ziehen Feuchtigkeit aus der Luft an und ſind auch in Alkohol löslich. Beim Erhitzen entweicht zuerſt das Waſſer, dann, bei nicht hoher Temperatur (66 bis 300° C.), ein Theil der Säure, ſo daß ein baſiſches Salz und bei weiterem Erhitzen zuletzt reines Oxyd zurückbleibt. Das ſalpeterſaure Kupferoxyd wird als Bronzirflüſſigkeit, zur Darſtellung von Bergblau und in der Kattundruckerei bei Tafelfarben verwendet.

Die Verbindungen des Kupferoxydes mit den verſchiedenen Säuren des Chlors, das bromſaure, jodſaure, borſaure und chromſaure Kupferoxyd führen wir nur dem Namen nach an.

Kohlenſaures Kupferoxyd. Das neutrale Salz iſt nicht bekannt. In der Natur kommen vor: der Kupferlaſur ($2\ (CuO, CO^2) + CuO, HO$) und der Malachit ($CuO, CO^2 + CuO, HO$). Der erſtere zeichnet ſich aus durch die ſchöne blaue Farbe ſeiner Kryſtalle, welche das bekannte Bergblau liefern. Künſtlich hat man dieſe Farbe nicht ſo ſchön herſtellen können; die Nachahmungen (Bremerblau, Mineralblau) werden mit der Zeit grünlich. Der Malachit liefert das Berggrün, das auch künſtlich dargeſtellt wird. Der Malachit wird auch zu Zierrathen verarbeitet. — Fällt man die Auflöſung eines Kupferoxydſalzes in gelinder Wärme durch kohlenſaures Alkali, ſo erhält man einen grünen, kryſtalliniſch-körnigen Niederſchlag von der Zuſammenſetzung des Malachit. In der Kälte dagegen erhält man einen voluminöſen, blauen Niederſchlag, der ein Aequiv. HO mehr enthält, der ſich im feuchten Zuſtande leicht in die grüne Verbindung umändert, während er nach dem Trocknen das eine Aequiv. HO erſt bei 110° C. verliert. Kocht man friſch gefälltes kohlenſaures Kupferoxyd in der Flüſſigkeit, ſo bleibt zuletzt faſt reines Oxyd zurück. Die dem Malachit entſprechende Verbindung kommt als Braunſchweiger Grün — eine Nachahmung des Berggrün — in den Handel. Sie enthält noch Magneſia und Thonerde, wodurch ihre große Lockerheit bedingt wird.

Phosphorſaures Kupferoxyd kommt in der Natur in einer Reihe von Mineralien vor: Phosphorochalcit ($PO^5, 3\ CuO + 3\ CuO, HO$), Ehlit ($PO^5, 3\ CuO + 2\ CuO, HO$), Trombolith ($PO^5, 3\ CuO + 6\ HO$), Libethonit ($PO^5, 3\ CuO + CuO, HO$). Künſtlich dargeſtellt bildet es einen blaugrünen Niederſchlag.

Arſenigſaures und arſenſaures Kupferoxyd bilden erſteres einen gelbgrünen, letzteres einen bläulichgrünen Niederſchlag. Das letztere kommt auch in der

Natur vor und bisweilen iſt darin ein Theil der Arſenſäure (AsO^5) durch Phosphorſäure (PO^5) vertreten. (Olivenit (AsO^5, PO^5), 3 CuO + CuO, HO. Erinit AsO^5, 3 CuO + 2 CuO, HO. Kupferſchaum (5 CuO, As + 10 HO) + CuO, CO^2.) — Als kieſelſaure Verbindungen finden wir in der Natur den Kieſelmalachit (3 CuO, 2 SiO^3 + 6 HO) und den ſehr ſeltenen Kupferſmaragd (Dioptas) (3 CuO, 2 SiO^3 + 3 HO). Auf den Zuſatz einer Löſung von kieſelſaurem Kali zu einer Kupferoxydſalzlöſung erhält man einen grünlich-blauen Niederſchlag.

Von den zahlreichen Verbindungen des Kupferoxydes mit organiſchen Säuren beſprechen wir nur das eſſigſaure Kupferoxyd. Mit der Eſſigſäure verbindet ſich das Kupferoxyd in verſchiedenen Verhältniſſen. Dieſe Salze ſind namentlich von Berzelius näher unterſucht worden. Den Ausgangspunkt für die verſchiedenen Verbindungen liefert der im Handel vorkommende Grünſpan (Aurago, Viridis aeris), der ein Gemenge von mehreren baſiſchen Salzen iſt. Bereitet wird er in den Weinländern, indem man ſaure Weintreſtern mit dünnen Kupferplatten ſchichtet und das Ganze mit einer Grünſpanlöſung befeuchtet. Nach einiger Zeit haben ſich die Platten mit Grünſpan bedeckt, der dann abgeſchabt wird. Neutraliſirt man den Grünſpan mit Eſſigſäure, ſo erhält man das einfach eſſigſaure Kupferoxyd (CuO, C^4 H^3 O^3) oder deſtillirten Grünſpan. Es kryſtalliſirt in bläulich-grünen Säulen, welche zum 2- und 1gliederigen Syſtem gehören. Behandelt man den Grünſpan mit Waſſer, ſo gewinnt man daraus zwei Verbindungen: dritteleſſigſaures Kupferoxyd (3 CuO, C^4 H^3 O^3) und zwei dritteleſſigſaures Kupferoxyd (3 CuO, 2 C^4 H^3 O^3). Läßt man eine Löſung des einfach eſſigſauren Kupferoxydes auf Kupferplatten mehrere Monate hindurch wirken, ſo erhält man den blauen Grünſpan (2 CuO, C^4 H^3 O^3).

Der Grünſpan wird als Malerfarbe und zur Darſtellung des Schweinfurter Grüns verwendet, welche prachtvolle grüne Farbe unter wenigſtens 35 verſchiedenen Namen im Handel vorkommt. Nach einigen wurde ſie von Ruſy und Sattler in Schweinfurt 1814 erfunden, nach anderen *) ſoll ſie jedoch ſchon vorher von Wien aus unter dem Namen Wiener- oder Witisgrün verkauft worden ſein. Lange Zeit war ihre Bereitung ein Geheimniß, das jedoch von Liebig und Braconnot entſchleiert wurde. Ehrmann lehrte ihre quantitative Zuſammenſetzung kennen: $\overline{Ac}$, CuO + 3 (AsO^3, CuO), ſo daß ſie in 100 Th. 31,29 CuO, 58,65 AsO^3 und 10,06 $\overline{A}$ enthält. Die Bereitungsweiſe iſt folgende: man vermiſcht geſondert bereitete und ſiedende Auflöſungen von gleichen Theilen arſeniger Säure und neutralem eſſigſauren Kupferoxyd; läßt man den flockigen Niederſchlag mit der freie Eſſigſäure enthaltenden Flüſſigkeit in Berührung ſtehen, ſo verwandelt er ſich in wenigen Stunden in eine kryſtalliniſche körnige Maſſe von intenſiv grüner Farbe, indem aus dem arſenigſauren Kupferoxyd ein Theil der Säure ſich gegen Eſſigſäure austauſcht, alſo eine Doppelverbindung entſteht. Außer dieſer Vorſchrift giebt es noch verſchiedene andere, nach denen in den Fabriken gearbeitet wird **). Die kryſtalliniſche Beſchaffenheit verleiht der Farbe ein höheres Feuer;

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. IX. S. 452 und Bd. LII. S. 271.

**) Prechtl's technol. Encyklopädie. Bd. IX. S. 30. Buchner's Repertorium. Bd. XIII. S. 469. Ann. d. Pharm. Bd. XII. S. 92. Kaſtner's Archiv. Bd. XVII. S. 285.

ſie deckt aber weniger, deshalb verwendet man ſie auch als feines Pulver. Für den Handel miſcht man ſie gewöhnlich mit Gyps, Schwerſpath oder ſchwefelſaurem Bleioxyd in den verſchiedenſten Verhältniſſen; man verdünnt ſie alſo gleichſam und daher kommen auch die verſchiedenen Namen, welche dieſe Farbe führt.

Es iſt keinem Zweifel unterworfen, daß dieſe Verbindung, wenn ſie in den Körper gelangt, giftig wirkt und deshalb muß man bei der Verwendung derſelben große Vorſicht beobachten. Ein Anderes iſt es aber, ob der Kreuzzug, den man gegen die Verwendung dieſer Farbe bei der Dekoration der Zimmer predigt und die in Folge deſſen erlaſſenen Verbote gerechtfertigt ſind. Seitdem man die äußerſt gefährlichen Wirkungen der flüchtigen arſenhaltigen Verbindungen (Arſenwaſſerſtoff, Alkarſin) kennt, hat ſich eine ſolche Furcht vor dieſer grünen Farbe der Gemüther bemächtigt, daß man völlig unfähig iſt, die Sache mit ruhigem Blute zu überlegen. Von dieſer Geſpenſterfurcht befallen fragt man nicht, wie dieſe Verbindungen hier entſtehen können; es iſt völlig gleichgültig, daß ſie noch niemals in der Luft ſolcher Zimmer nachgewieſen ſind und die Stimme der Wenigen, die nicht von dieſem Alp befallen ſind *), verhallt im Winde. Vor allen Dingen käme es den Anklägern doch zu, triftige Beweiſe für ihre Anſchuldigung beizubringen; aber daran denkt Niemand Wie man hier argumentirt, ſieht man am deutlichſten aus einer kleinen Schrift von Kleiſt **). Es iſt nicht ein verſtändiger Chemiker, der hier ſpricht, ſondern der unfehlbare, abſolutiſtiſche Beamte, der jeden Widerſpruch für ſtrafbar hält, weil das Miniſterium die Verwendung dieſer Farben verboten hat.

Kupferſuperoxyd CuO^2 entſteht nach Thénard durch die Einwirkung von höchſt verdünntem Waſſerſtoffſuperoxyd auf feuchtes Kupferoxydhydrat bei 0° C. und Kupferſäure (Kupferſesquioxyd Cu^2O^3) durch die Einwirkung von Chlorgas auf Kupferoxydhydrat, das in Kalilauge ſuspendirt iſt ***).

Von den Verbindungen des Kupfers mit den nicht metalliſchen Elementen führen wir die mit Waſſerſtoff, Stickſtoff, Kohlenſtoff und Phosphor nur dem Namen nach an. — Bringt man Kupfer in dünnen Blechſtreifen in Schwefeldampf, ſo geht die chemiſche Vereinigung beider zu Halbſchwefelkupfer (Kupferſulphuret, Cu^2S) unter lebhaftem Erglühen des Kupfers vor ſich. Dieſelbe Verbindung entſteht, wenn man 4 Th. höchſt feinzertheiltes Kupfer mit 1 Th. Schwefel innig zuſammenreibt; auch hierbei iſt die Erhitzung oft ſo ſtark, daß eine Entzündung eintritt. Das Halbſchwefelkupfer findet ſich noch in der Natur als Kupferglanz kryſtalliſirt in ſechsſeitigen Prismen; mit Schwefeleiſen bildet es das Buntkupfererz und dann kommt es auch in den Fahlerzen vor, in denen es theilweiſe auch durch Schwefelſilber vertreten wird. Dieſer Umſtand deutet auf eine Iſomorphie beider Verbindungen, die aber an den in der Natur vorkommenden Schwefelverbindungen des Kupfers und Silbers nicht auftritt, da deren Kryſtalle zwei verſchiedenen Syſtemen angehören. Künſtlich aber, bei der Darſtellung des Schwefelkupfers im Großen, erhält man Kryſtalle, welche dem regulären Syſtem angehören, alſo die

*) Deutſche Klinik 1852. Nr. 43.

**) Betrachtungen über die ſchädlichen Wirkungen arſenikhaltiger Farben auf den menſchlichen Organismus und in ſanitätspolizeilicher Beziehung überhaupt.

***) Pogg. Ann. Bd. LXII. S. 445. Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LV. S. 213. Pharm. Centralbl. 1845. S. 171.

Form des Schwefelſilbers beſitzen. Die Farbe des Schwefelkupfers iſt ſchwarzgrau; es ſchmilzt viel leichter als das Kupfer. Die Verbindung iſt ſehr beſtändig, während die dem Oxyd entſprechende (das einfach Schwefelkupfer, Kupferſulphuret CuS) beim Erhitzen Schwefel verliert. Sie entſteht durch Schwefelwaſſerſtoff in einer Kupferoxydlöſung. Sie findet ſich auch in der Natur als Kupferindig.

Mit dem Chlor exiſtiren gleichfalls zwei Verbindungen, die dem Oxydul (Kupferchlorür $Cu^2 Cl$) und dem Oxyd (Kupferchlorid Cu Cl) entſprechen. Die erſtere ſtellt man auf verſchiedene Art dar: durch Erhitzen des waſſerhaltigen Kupferchlorids, durch Digeriren einer Kupferchloridlöſung mit Kupfer, durch Auflöſen von Kupferoxydul in Salzſäure, durch Miſchen einer Auflöſung von Kupferchlorid mit Zinnchlorür oder durch Erhitzen von Queckſilberchlorid mit Kupfer. In Waſſer iſt das Kupferchlorür ſehr wenig auflöslich, ſo daß es aus der ſalzſauren Löſung dadurch gefällt wird. Dieſe Löſung wird kräftig desoxydirend, ſie dient gleichfalls zur Trennung des Kohlenoxydgaſes von anderen Gaſen. Aus einer concentrirten Löſung in Salzſäure ſchießen Kryſtalle von Kupferchlorür an, die ſich aber ſehr bald an der Luft grün färben, indem ſich ein baſiſches Chlorid bildet. Ammoniak löſt das Chlorür ſehr leicht auf; die farbloſe Löſung färbt ſich aber an der Luft augenblicklich blau. Behandelt man das Chlorür bei Digeſtionswärme wiederholt mit Waſſer, ſo wird es nach Vogel jun. *) vollſtändig in Kupferoxydul verwandelt. Beſonders raſch geht dieſe Umwandlung von ſtatten, wenn das Waſchwaſſer recht häufig erneuert wird, wobei die in dem Waſſer enthaltene Luft eine bedeutende Rolle ſpielt. $2 (Cu^2 Cl) + O = Cu^2 O + 2 Cu Cl$. — Kupferchlorid im waſſerfreien Zuſtande erhält man durch Behandeln von Kupfer oder Kupferchlorür mit trocknem Chlorgas; die braune Maſſe zieht aber an der Luft Waſſer an, wobei die Farbe in grün übergeht. Aus den Löſungen von Kupferoxyd, Kupferoxydhydrat und kohlenſaurem Kupferoxyd in Salzſäure, oder von Kupfer in Königswaſſer oder concentrirter Salzſäure bei Zutritt der Luft, deren Farbe bei großer Verdünnung in blau übergeht, erhält man beim Abdampfen grüne vierſeitige Säulen von $Cu Cl + 2 HO$, die das Waſſer leicht abgeben und dann eine gelbbraune Farbe annehmen. Bei höherer Temperatur entweicht Chlor und Kupferchlorür bleibt zurück. Nach Vogel jun. geben indeſſen 3 Aeq. Cu Cl nur 1 Aeq. Cl ab, ſo daß der Rückſtand als $Cu^2 Cl + Cu Cl$ zu betrachten iſt. Durch Waſſer erhält man daraus 1 Aeq. Cu Cl, während das Kupferchlorür ungelöſt zurückbleibt, aber leicht durch Zuſatz von Salzſäure und Berührung mit der Luft wieder in Chlorid übergeführt werden kann. Vogel wirft die Frage auf, ob dieſe Art der Chlorentwickelung nicht für techniſche Zwecke anwendbar ſei. Es würde hierbei nur darauf ankommen, daß die Erhitzung des Kupferchlorids, alſo die Darſtellung des Chlors, einen nicht unverhältnißmäßigen Verbrauch an Brennmaterial erfordert. Das Material für die Chlorentwickelung ſelbſt würde wenig koſtbar ſein, da der Sauerſtoff der atmoſphäriſchen Luft dazu benutzt wird, um aus der Salzſäure das Chlor, ohne Verbrauch eines anderen Materials abzuſcheiden. — Eine ſtark verdünnte Auflöſung von Kupferchlorid dient als ſympathetiſche Dinte. Die farbloſen Schriftzüge treten bei der Erwärmung durch Umwandlung in waſſerfreies Chlorid mit gelber Farbe hervor. Beim Liegen in feuchter Luft verſchwinden

*) Gelehrt. Anz. d. Münch. Akad. 1855. Nr. 30 u. 31.

ſie jedoch nicht wieder ganz, weil auch etwas Chlor entweicht und dadurch eine gefärbte baſiſche Verbindung entſteht. — Das Kupferchlorid iſt auch in Weingeiſt und Aether löslich; die Flamme dieſer Löſungen beſitzt eine prachtvolle grüne Farbe.

Mit dem Kupferoxyd geht das Chlorid verſchiedene baſiſche Verbindungen ein. Eine derſelben (Cu Cl + 3 CuO + 4 HO) hat techniſche Wichtigkeit, da man ſie als Bremer-Grün fabrikmäßig darſtellt, indem man Kupferbleche, mit Salzſäure oder Salmiaklöſung benetzt, der Einwirkung der Luft ausſetzt. Der in Chili und Peru vorkommende Atakamit oder Smaragdo-Chalcit beſitzt dieſelbe Zuſammenſetzung. — Eine noch brillantere grüne Farbe als das Bremer-Grün giebt die Verbindung Cu Cl + 2 CuO + 3 HO.

Mit Chlor, Brom, Jod, Fluor und Cyan geht das Kupfer gleichfalls je zwei Verbindungen ein, die dem Oxydul und Oxyd entſprechen. Wegen der Unlöslichkeit des Kupferjodürs ($Cu^2 J$) in Waſſer und Säuren hat man die Bildung deſſelben zur Abſcheidung von Jod und zur quantitativen Beſtimmung deſſelben vorgeſchlagen.

Im Allgemeinen zeigt das Kupfer große Neigung ſich mit anderen Metallen zu verbinden. Von den zahlreichen Legirungen führen wir nur die an, welche für die Technik wichtig ſind. Obenan ſteht das Meſſing — laiton, cuivre jaune, brass — (Kupfer und Zink, in verſchiedenen Verhältniſſen zuſammengeſchmolzen). Schon vor der Entdeckung des Zinks wußte man dieſe Legirung aus dem Galmei zu bereiten. Jetzt ſchmilzt man beide Metalle in Tiegeln zuſammen oder man ſetzt Kupfer Zinkdämpfen aus, wodurch aber unreine oberflächliche Meſſingbildung hervorgerufen wird. Letzterer Methode bedient man ſich bei der Darſtellung des Meſſingdrahtes zu unächten Goldtreſſen. Bei kupfernen Geräthen bewirkt man eine Verwandlung der Oberfläche in Meſſing, wenn man dieſe mit verdünnter Salzſäure, der Weinſtein und Zinkamalgam zugeſetzt worden iſt, anſiedet. Die Farbe des Meſſings iſt ſehr verſchieden, ſie richtet ſich nach den Verhältniſſen, in welchen die beiden Metalle zuſammen geſchmolzen worden ſind. Im Allgemeinen hängt die Farbe wohl von dem Kupfer ab, doch nur in gewiſſen Verhältniſſen. Gewöhnlich rechnet man auf 1 Th. Kupfer $2^1/_4$ bis $2^1/_2$ Th. Zink; nimmt man mehr Zink, ſo geht die Farbe des Meſſings mehr ins Rothe und dann wird es ſo ſpröde, daß es nicht verarbeitet werden kann. Nach Karſten iſt die Legirung aus gleichen Theilen Kupfer und Zink mehr roth als die aus 4 Th. Kupfer und 1 Th. Zink. Man findet auch Blei und Zinn in dem Meſſing, die meiſtens aber nicht abſichtlich zugeſetzt werden. Ein geringer Bleigehalt macht das Meſſing ſehr geeignet zur Bearbeitung auf der Drehbank. In der Hitze wird das Meſſing ſehr ſpröde, daher kann es nur in der Kälte verarbeitet werden. Das ſpec. Gewicht (7,824 bis 8,44) hängt ab von dem Gehalt an Kupfer. Beim Erwärmen von 0° bis 100° dehnt das Meſſing ſich nach Smeaton um $^1/_{533}$ aus. Sein Schmelzpunkt liegt niedriger als der des Kupfers (nach Daniell bei 921°) und deshalb bedient man ſich deſſelben auch zum Löthen von Kupfer. Für Küchengeſchirre iſt das Meſſing eben ſo wenig zu empfehlen wie das Kupfer; es oxydirt ſich gleichfalls in feuchter Luft und in Säuren iſt es eben ſo leicht löslich. Bringt man Meſſing in eine ſchwache, etwas angeſäuerte Kupfervitriollöſung, ſo überzieht ſich die Oberfläche deſſelben mit Kupfer, das darauf niedergeſchlagen wird. Die Abweichungen in der Zuſammenſetzung des Meſſings laſſen ſich aus folgenden Analyſen erſehen:

	I. Neuſtadt-Eberswalde	II. Augsburg	III. England	IV. Stolberg	V. Sehr hämmerbar	VI.
Kupfer	71,36	70,16	71,89	70,29	65,8	70,1
Zink	28,15	27,45	27,43	29,26	31,8	29,9
Zinn	—	0,19	0,85	0,17	0,15	—
Blei	—	0,20	0,90	0,28	2,15	—
	99,51	100,00	100,37	100,00	99,90	100,00

Das Knitter- oder Rauſchgold iſt ſehr dünn ausgeſchlagenes Meſſing, das durch das ſtarke Schlagen eine große Feſtigkeit und einen ſtarken Glanz erhält. Das moſaiſche Gold beſteht aus 100 Th. Kupfer und 52 bis 55 Th. Zink. Eine andere Legirung, die zu Knöpfen verarbeitet und von den Fabrikanten Platin genannt wird, beſteht aus 8 Th. Meſſing und 5 Th. Zink; ſie wird auch noch in anderen Verhältniſſen zuſammengeſchmolzen, wie denn auch noch andere Legirungen (Bathmetal, Briſtolmetal ꝛc.) in der Technik verarbeitet werden.

Rothes Meſſing wird durch Zuſammenſchmelzen von Kupfer und Zink in ſehr verſchiedenen Verhältniſſen dargeſtellt und führt darnach die verſchiedenſten Namen (Tomback, Rothguß, Similor, Prinzmetall, Mannheimer Gold ꝛc.). Gewöhnlich nimmt man mehr als $2^1/_2$ Th., ja ſelbſt bis zu 10 Th. Kupfer auf 1 Th. Zink. Die Verhältniſſe werden von einem Jeden, je nach dem Zweck der Verarbeitung abgeändert. Aus einer ſolchen Legirung wird das unächte Blattgold (Goldſchaum), beſonders in Nürnberg dargeſtellt. Es dient ferner zur Anfertigung einer großen Zahl kleiner Luxusartikel, die goldenen ähnlich ſehen ſollen, und bei Maſchinen zu Zapfenlagern und Büchſen, da es ſich weniger ſchnell abnutzt als gewöhnliches Meſſing.

Schon oben haben wir den Grund angegeben, warum das Kupfer nicht zum Guß verwendet werden kann. Dieſen Uebelſtand beſeitigt man dadurch, daß man das Kupfer mit Zink und Zinn oder Blei oder auch mit beiden letzten zugleich legirt. Eine ſolche Legirung iſt die Bronze, die, wie bekannt, ſelbſt bei den größten Standbildern vielfach in Anwendung kommt. Die vielfachen Anforderungen, die man an die Bronze ſtellt, bedingen eine vielfache Abänderung in den Verhältniſſen der Zuſammenſetzung. So z. B. wird die große Sprödigkeit einer Legirung von Kupfer, Zink und Zinn durch den Zuſatz einer geringen Menge Blei gehoben und dadurch vermieden, daß Gegenſtände von bedeutendem Umfang und geringer Dicke reißen. Bei Gegenſtänden von größerer Maſſe, wie z. B. Standbildern, die nur langſam erkalten, wirkt der Bleizuſatz, wenn er eine beſtimmte Grenze überſchreitet, oft nachtheilig, indem das Blei ausſaigert, d. h. in kleinen Kügelchen an der Oberfläche zum Vorſchein kommt, wodurch ein fleckiges Anſehen entſteht und eine gleichmäßige Bildung der Patina, des vor der weiteren Einwirkung der Luft ſchützenden grünen Ueberzuges, verhindert wird. Im Allgemeinen muß eine gute Bronze eine gefällige, röthlichgelbe Farbe und ein feines Korn beſitzen, dabei aber ſo dünnflüſſig ſein, daß ſie leicht in die feinſten Vertiefungen der Form eindringt und dieſe vollſtändig ausfüllt; bei einer gewiſſen Härte darf jedoch die Sprödigkeit nicht zu groß ſein, damit nicht zufällige Stöße Gefahr bringen; ſie muß ſich überhaupt gut feilen und ciſeliren laſſen. Eine Hauptſache iſt noch die Bildung des zierenden grünen Ueberzuges von kohlenſaurem Kupferoxydhydrat, der Patina (aerugo nobilis, patina antique oder verte). Dieſe Bildung wird jetzt auch künſt-

lich in kurzer Zeit hervorgerufen und zwar dadurch, daß man die Oberfläche der Bildwerke mit der Löſung verſchiedener Salze beſtreicht und dadurch die Oxydation des Kupfers beſchleunigt. Nach dem Eintrocknen des Aufgetragenen reibt man die Oberfläche mit Leder ab und fährt hiermit abwechſelnd fort, bis die gewünſchte grüne Färbung erzielt iſt, ſo aber, daß die ſchöne Farbe der Bronze durch dieſen Ueberzug hindurchſchimmert. Solche Löſungen ſind: $4^1/_2$ Th. Salmiak, 1 Th. ſaures oxalſaures Kali und $94^1/_2$ Th. deſtillirter Eſſig; ſalpeterſaures Kupferoxyd, Salmiak und Waſſer, der man auch noch Kochſalz und gereinigten Weinſtein zuſetzt *). In der Zuſammenſetzung variirt die Maſſe der verſchiedenen Bildwerke bedeutend, aber dennoch darf eine gewiſſe Grenze bei den verſchiedenen Beſtandtheilen nicht überſchritten werden **). Dieſe bilden folgende Legirungen: 84,42 Kupfer, 11,28 Zink, 4,3 Zinn und 65,95 Kupfer, 31,56 Zink und 2,49 Zinn. Die erſtere beſitzt die ſtärkſte rothgelbe Farbe und iſt wegen des bedeutenden Kupfergehaltes die theuerſte; die letztere iſt faſt goldgelb gefärbt. Ueberhaupt verſchwindet die rothe Farbe bei Legirungen, die unter 80 Proc. Kupfer und 3,5 Proc. Zinn und über 17 Proc. Zink enthalten; die Farbe iſt hier faſt rein gelb, weshalb man dieſes Gemiſch nur zu Gegenſtänden verwendet, die vergoldet werden ſollen. Zu dieſem Zweck empfiehlt d'Arcet beſonders folgende Legirungen:

Kupfer	63,70	64,45	70,90	72,43
Zink	33,15	32,44	24,05	22,75
Zinn	2,50	0,25	2,00	1,87
Blei	0,25	2,86	3,05	2,95.

Einige Bronzen von verſchiedenen bedeutenden Standbildern ſind analyſirt worden, die Ergebniſſe der Analyſe mögen hier folgen:

	I.	II.	III.	IV.	V.
Kupfer	91,40	89,62	82,45	83	75
Zink	5,53	4,20	10,30	14	20
Zinn	1,70	5,70	4,10	2	3
Blei	1,37	0,48	3,15	1	2.

I. Reiterſtatue Ludwig XIV., 484 Ctr. ſchwer, von Keller 1699 in einem Guß vollendet; II. Statue Heinrich IV.; III. Reiterſtatue Ludwig XV., 545 Ctr. ſchwer, von Gor; IV. Statue der Minerva in Paris; V. Statue Napoleons, ſehr gelb.

Die Bronze der Alten (aes) unterſcheidet ſich weſentlich von der der neueren Zeit dadurch, daß, wie durch zahlreiche Analyſen nachgewieſen iſt, ſie nur aus Kupfer und Zinn beſtand, mitunter aber auch noch Blei enthielt. Dies gilt jedoch nur für die Griechen und deren Colonien ***). In römiſchen Legirungen findet man häufig Zink, entweder neben allen dreien oder neben den beiden erſteren oder auch nur mit Kupfer allein. Die Alten prägten nicht allein Münzen aus Bronze, ſondern verfertigten daraus auch die verſchiedenſten Geräthe und Waffen. Je nach

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. IX. S. 470. Bd. XXIV. S. 319. Bd. LVIII. S. 480.

**) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XXXII. S. 226.

***) Göbel, über den Einfluß der Chemie auf die Ermittelung der Völker der Vorzeit. Erlangen 1842.

Bedürfniß wußten ſie dieſen Legirungen Härte und Sprödigkeit oder Weichheit und Biegſamkeit zu ertheilen. Das Letztere erreichten ſie durch raſche Abkühlung — Ablöſchen in kaltem Waſſer. Die Verhältniſſe der Beſtandtheile variiren hier eben ſo ſehr, wie bei der Bronze der neueren Zeit: zwiſchen 85 bis 97 Kupfer und 15 bis 3 Zinn. Mitunter findet man auch eine geringe Menge von Silber und Eiſen darin, die aber wohl in den anderen Metallen enthalten waren und keinen weſentlichen Beſtandtheil ausmachen.

Noch heute finden ähnliche Legirungen aus Kupfer und Zinn eine vielfache Verwendung in der Technik. So dient namentlich zu Denkmünzen eine Legirung, die 8 bis 12 Proc. Zinn enthält. Dann gehört hierher die Glockenſpeiſe (Glockengut), welche 22 bis 25 Proc. Zinn enthält. Mit dem Zinngehalt wächſt auch die Sprödigkeit, ſo daß bei einem größeren Zinngehalt als angegeben, die Glocke dann den Schlägen des Klöppels beim Läuten nicht widerſtehen kann. Die engliſche Glockenſpeiſe hat nach Thomſon eine andere Zuſammenſetzung: 80 Kupfer, 10,1 Zinn, 5,6 Zink und 4,3 Blei. Irrthümlich iſt man der Anſicht, daß der ſchöne Klang mancher alten Glocken von einem Zuſatz an Silber herrühre; im Gegentheil wirkt der Zuſatz eines jeden Metalles, ſelbſt des edlen Silbers, nachtheilig. In jüngſter Zeit liefern Meyer und Kühne bei Bochum in Weſtphalen Glocken aus Gußſtahl, die gegen Glocken aus Bronze außerordentlich wohlfeil ſind. Glocken von 40 bis 300 Pfd. koſten 7 Sgr. 6 Pfg. und von 300 bis 7000 Pfd. 6 Sgr. pro Pfund in der Fabrik. Manche arme Gemeinde iſt dadurch in den Stand geſetzt ſich Glocken anzuſchaffen, woran ſie bisher durch den hohen Preis der Bronze verhindert war. Die Güte und Brauchbarkeit dieſer Glocken iſt anerkannt; zahlreiche Zeugniſſe von Gemeindebehörden und Kirchenvorſtänden beſtätigen ihren reinen, kräftigen Ton, ihre große Schallweite und Haltbarkeit. Und doch hat ſich der Benennung wegen ein heftiger Streit darüber erhoben. Dingler *) und Krupp, der rühmlichſt bekannte Gußſtahlfabrikant in Eſſen **), erklären die Bezeichnung „Gußſtahlglocken" für eine Täuſchung des Publikums, welche nur den Zweck haben kann, dem Material, das nur aus Roheiſen beſteht, den Werth des koſtſpieligeren Gußſtahls beizulegen. Es ſoll ein ſo kohlehaltiges Eiſen ſein, daß es weit davon entfernt iſt ſchmiedbar zu ſein. Eiſenhütten, welche Spiegeleiſen oder weißes Roheiſen darſtellen, brauchen nur die richtige Mitte zwiſchen Spiegeleiſen und körnigem Roheiſen zu treffen, um die Glocken zum Drittheil des jetzigen Preiſes zu liefern. Dagegen aber erheben ſich gewichtige Stimmen ***), die erklären, daß es zu wiederholten Malen geglückt ſei, Stücke dieſer Glocken zu ſchmieden und zu ſtrecken, das Material durchaus gewöhnlichem Gußſtahle gleiche Eigenſchaften beſitze, jedoch mit der Ausnahme, nicht für Schneidewerkzeuge brauchbar zu ſein, indem es für derartige Zwecke ſehr leicht dem Zerſpringen ausgeſetzt ſei und der Klang dieſer Glocken ſich gegen den zweier aus gutem Roheiſen gefertigten durch helleren Ton und längere Dauer der Schwingungen ſehr vortheilhaft auszeichne.

Aus einer Legirung, die 22 Proc. Zinn enthält, fertigen die Chineſen ihre bekannten Gong-Gongs — Becken mit dünnem Boden, die man nach Art

*) Polyt. Journ. Bd. CXXXIII. S. 397.
**) Kölniſche Zeitung vom 12. Sept. 1854.
***) Polyt. Centralb. 1855. S. 762.

der großen Trommel mit einem hölzernen mit Leder bezogenen Schlägel anschlägt, wobei sie einen sehr vollen und kräftigen Ton, wie eine größere Glocke geben. Die Darstellung dieser Instrumente war lange Zeit Geheimniß; sie wurde von d'Arcet gelehrt *), nachdem Klaproth die Masse analysirt hatte. Jetzt fertigt man aus ähnlichen Legirungen kleine Uhrglocken, Tischklingeln, Cymbeln ꝛc. an. — Eine an Zinn (30 bis 35 Proc.) reichere Legirung ist das Spiegelmetall. Das beste Verhältniß des Kupfers zum Zinn soll 2 : 1 sein; bei sehr großen Spiegeln verringert man der Sprödigkeit wegen den Zinnzusatz. Edwards **) empfiehlt auf 32 Kupfer und 15 bis 16 Zinn einen Zusatz von 2 Th. Arsenik; diese Legirung soll unter allen bekannten am besten das Licht in größter Menge zurückwerfen. Ueber $^1/_{16}$ der gesammten Legirung darf jedoch der Arsenikzusatz nicht betragen, weil sonst die Spiegel anlaufen und blind werden. Silber vermindert die Härte der Legirung und beeinträchtigt dadurch die Politur. Die bekannten chinesischen Spiegel enthalten kein Zinn; die Legirung besteht aus 80,8 Kupfer, 9,5 Blei und 8,5 Antimon. — Das Kanonenmetall, Kanonengut, Geschützmetall (bronze de canons, gun-metal) ist gleichfalls eine Legirung aus Kupfer und Zinn, die 9 bis 11 Proc. des letzteren Metalles enthält. Beim Erkalten der gegossenen Geschützröhren sondert sich an den Stellen, wo die Abkühlung nur langsam eintritt, eine zinnreichere weiße Legirung ab (mit 19 bis 23,69 Proc. Zinn), welche dem Geschütz die Härte verleiht, so daß die Kugeln nicht leicht Furchen ziehen, während die zinnärmere Legirung die Zähigkeit bewirkt. Die erstere Legirung brennt bald aus und dann ist das Geschütz unbrauchbar.

Aehnliche Legirungen finden eine ausgedehnte Anwendung zu den verschiedensten Maschinentheilen. Wir stellen hier eine Anzahl Analysen zusammen, aus denen die Zusammensetzung und Verwendung derartiger Legirungen hervorgeht.

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.
Kupfer	73,6	89,0	86	79	5,5	90,2	89	86,8	4	90
Zinn	9,5	2,5	14	8	14,5	3,5	2,4	12,4	6	10
Zink	9,0	7,8	—	5	80	6,4	9	—	—	—
Blei	7,0	—	—	8	—	—	—	—	—	—
Antimon	—	—	—	—	—	—	—	—	8	—

I. Achsenlager einer englischen Locomotive, enthielt noch 0,42 Eisen; II. Lagermetall für die Treibachsen einer belgischen Locomotive mit noch 0,8 Eisen; III. Lagermetall für Locomotivenachsen aus Seraing; IV. Stephenson's Zapfenlager für Locomotiven; V. Fenton's Antifrictionsmetall zu Zapfenlagern für Maschinen und Locomotiven; VI. Metall zu Stopfbüchsen für Kolbenstangen einer belgischen Locomotive; VII. Metall für Locomotivkolben aus Seraing; VIII. Metall zu Regulatoren einer belgischen Locomotive; IX. Dewrance's Zapfenlagermetall für Locomotiven; X. Köchlin's Metall zu kleinen Rädern für Spinnmaschinen.

In neuester Zeit hat Lafond, Werkführer einer Gießerei zu Aubin im Departement Aveyron, eine Zusammenstellung verschiedener technisch wichtiger Metallmischungen, namentlich zum Gebrauche bei Locomotiven und natürlich auch zur

*) Gilb. Ann. Bd. LVI. S. 104.
**) Gilb. Ann. Bd. XII. S. 167.

vortheilhaften Verwendung bei anderen ähnlichen Gelegenheiten, gegeben *), der wir folgendes entnehmen.

A. Bronzen zu verschiedenen Bestandtheilen der Locomotiven.

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII. a.	VII. b.	VIII.
Kupfer	80	82	83	87	88	84	80	81	98
Zinn	18	16	15	12	10	14	18	17	2
Zink	2	2	1,5	—	2	2	—	—	—
Blei	—	—	0,5	—	—	—	—	—	—
Antimon	—	—	—	1	—	—	2	2	—

I. Zu den Lagern der Treibräder. Auf dem Bruch fast weiß von Farbe, dichtkörnig, sehr hart, aber doch ohne besondere Schwierigkeit zu bearbeiten. Der Zinkzusatz vermehrt die Festigkeit und beugt dem Bersten der Lager vor. II. Zu Lenkstangen-Lagerfuttern. Der Bruch ist ein wenig röthlich, das Korn dicht, die Festigkeit sehr groß, dabei aber doch geschmeidig, weil der Druck der Lenkstangen die Lagerfutter zerbricht, wenn das Metall zu spröde ist. III. Zu Gegenständen, welche Stöße und sehr starke Reibungen aushalten sollen. IV. Zu Ventilkugeln und anderen Gegenständen, woran Löthungen mit Schlagloth zu machen sind. Sie ist geschmeidig, von rothem feinkörnigen Bruche. V. Zu Pumpencylindern, Ventilgehäusen und Hähnen. Von blaßrothem Bruche, sehr gut zu feilen und zu poliren. VI. Zu Excentricringen. VII. Zu den Dampfpfeifen. a. giebt einen helleren Ton; beide sind zwar hart, aber doch ziemlich gut zu drehen und zu feilen. VIII. Zu Spülpfropfen und Montirhämmern. Schmiedbar wie reines Kupfer.

B. Verschiedene Metallmischungen zu anderem Gebrauch.

	IX.	X.	XI.	XII.	XIII.
Kupfer	78	25	—	—	97
Zinn	20	5	—	—	2
Zink	2	—	20	40	1
Gußeisen	—	70	—	—	—
Blei	—	—	30	50	—
Antimon	—	—	50	10	—

IX. Zu Lagern der Eisenbahnwagen. X. Wohlfeilere Legirung statt der Bronze. Weißgrau, ein wenig ins Gelbliche ziehend, an Festigkeit IX. übertreffend. XI. Graues Zapfenlagermetall. Obwohl von geringer Härte, nimmt dieses Gemisch doch eine Glätte an, welche die Reibung sehr mildert; nachtheilig ist jedoch der Umstand, daß das geringste zwischen Zapfen und Lager gelangende Sandkorn schnell Ritze hervorbringt. XII. Zu kleinen Rädergußmodellen, deren Zähne auf der Theilmaschine eingeschnitten werden. XIII. Bronze zu Medaillen.

Arsenik mit Kupfer unter einer Decke von Kochsalz zusammengeschmolzen giebt das bekannte Weißkupfer (Argent haché), das zu Verzierungen, aber nie zu Geräthen verarbeitet wird. — Eine andere Legirung dieses Namens besteht aus

*) Polyt. Centralb. 1855. S. 740.

Kupfer, Zink und Nickel, die auch den Namen Neusilber führt und besonders abgehandelt werden soll. (S. diesen Art.) Silber und Gold werden nie rein zu Münzen, Schmucksachen und Geräthen, sondern stets mit einem Zusatz von Kupfer verarbeitet, wodurch dem edlen Metall eine größere Härte ertheilt wird.

Kupferamalgam wendet man zum Ausfüllen der Höhlungen cariöser Zähne an. Nach Pettenkofer *) besteht es aus 30 Th. Kupfer und 70 Th. Quecksilber. W. B.

Kupfervitriol, s. Kupfer.

Kurzsichtigkeit, s. Sehen.

Labialpfeife, s. Pfeife.

Lactometer, s. Aräometer.

Ladungselektrometer, s. Elektrometer.

Ladungsflasche, s. Flasche, elektrische.

Länge, geographische, s. Breite, geographische.

Länge eines Gestirns, s. Breite eines Gestirnes, astronomische.

Längenuhr, s. Chronometer.

Lampe. Die Lampe ist als künstliches Beleuchtungsmittel seit den ältesten Zeiten im Gebrauch. Ihre Erfindung schreibt man den Aegyptern zu und von hier aus verbreitete sie sich nach Griechenland und Rom. Die älteste Form der Lampe ist uns in zahlreichen Exemplaren erhalten, an denen wir die künstlerische Form bewundern. Diese ist zu bekannt, als daß wir nöthig hätten sie in einer Abbildung vorzuführen. Durch die Völkerwanderung ging auch das Einzige, das wir an dieser Lampe bewundern, nämlich die Form, verloren und später trat unsere gewöhnliche, geschmacklose Küchenlampe an deren Stelle. Da erst durch Lavoisier gegen Ende des vorigen Jahrhunderts das Wesen der Verbrennung aufgedeckt wurde, so ist es sehr natürlich, daß bis dahin die Einrichtung der Lampe eine sehr unvollkommene war. Der Docht ist zu dick und dadurch entsteht ein Mißverhältniß zwischen der Menge des Oeles, die von dem Dochte aufgesogen wird und der nur von außen zuströmenden Luft. Die Verbrennung findet nur ringsum am Rande des Dochtes statt; nach innen hin ist der Luft der Zutritt versagt und daher das Rauchen und Qualmen dieser Lampen. Auf die anderen Uebelstände, die wir an diesen Lampen finden, kommen wir später zurück.

Sobald Lavoisier gezeigt hatte, welche Rolle die atmosphärische Luft bei der Verbrennung spielt, da war der Weg zu Verbesserungen angebahnt und schon nach kurzer Zeit wurde er betreten. Bereits 1782 lieferte der Schwede Altströmer **) die dünnen bandförmigen Dochte, welche der Luft eine viel größere Oberfläche und in Folge dessen auch zahlreichere Berührungspunkte darboten, als die bis dahin gebräuchlichen runden Dochte. Auf diese Art wurde nicht allein ein

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXX. S. 344.
**) Neue schwed. Abhandl. 1784. Nr. 22.

ſchöneres und helleres Licht erzielt, ſondern auch der beläſtigende Rauch bedeutend vermindert.

Einen weiteren und bedeutenderen Schritt vorwärts machte ſchon im nächſten Jahre der Genfer Ami Argand durch die Einführung der runden und hohlen Dochte, die ein Licht lieferten, das an Glanz und Reinheit alles bis dahin Bekannte übertraf *). Hier iſt es nicht allein die große Oberfläche, wodurch eine vollſtändige Verbrennung des zerſetzten Oeles bewirkt wird, ſondern mehr noch der beſtändige Luftzug, der durch die innere Höhlung des Dochtes empordringt. Jedoch erſt durch die Hinzufügung des Cylinders machte Argand ſeine Erfindung zu der hervorragendſten auf dem Gebiete der künſtlichen Beleuchtung. Die zuerſt angewendeten Cylinder waren gerade; ſie halfen zwar dem Mangel an Luftzug ab und verſtatteten den Docht höher zu ſtellen, ohne daß ein Qualmen eintrat, aber die Form dieſer Cylinder bedingte ein anderes Uebel: der dadurch bewirkte Luftzug war zu ſtark und beeinträchtigte wiederum die Flamme. Dieſer Nachtheil wurde jedoch bald durch Lange beſeitigt, der den Zuggläſern die jetzt allgemein bekannte Form gab **). Während in den Argand'ſchen Cylindern ſich der Luftſtrom parallel mit deſſen Axe bewegt, ſo daß ein Theil der Luft gar nicht an der Verbrennung Theil nimmt, vielmehr die Flamme abkühlt und das Licht derſelben beeinträchtigt, fällt dieſer Uebelſtand in Folge der ſogenannten Schulter, die dadurch entſteht, daß Lange dem Cylinder in einer gewiſſen Höhe über dem Brenner eine verjüngte Form gab, ganz fort. Hier bricht ſich der Luftſtrom und tritt nun unter einem gewiſſen Winkel in die Flamme, ſo daß dennoch, obgleich die Flamme mit einer geringeren Menge Luft geſpeiſt wird, eine vollſtändigere Verbrennung und ſomit ein größerer Effect erzielt wird. Mit dieſer Verbeſſerung war nach der einen Seite hin alles geleiſtet.

Nach den photometriſchen Meſſungen des Grafen v. Rumford ***) verhielt ſich die Lichtmenge der Argand'ſchen Lampen zu der einer gewöhnlichen, wie ſie bis dahin im Gebrauch waren, wie 187 : 100 und die Quantität des verzehrten Oels in der erſteren zu der in der letzteren wie 155 : 100. Daraus geht hervor, daß die Lichtmenge, welche aus einer gegebenen Quantität Oel durch die Argand'ſche Lampe erzielt wurde, größer war als die, welche die gewöhnliche Lampe daraus lieferte und zwar in dem Verhältniß von 100 : 85 und daraus reſultirt ein Erſparniß von 15 Proc. Oel beim Gebrauch der Argand'ſchen Lampen gegen die gewöhnlichen. Dieſe Sparſamkeit im Verbrauch an Oel, verbunden mit der größeren Helligkeit des Lichtes und der gänzlichen Abweſenheit des läſtigen Qualmes und Rauches machen den großen Beifall und die außerordentliche Verbreitung, welche Argand's Entdeckung ſeiner Zeit fand, erklärlich.

Den zu ſtarken Glanz des Lichtes, über den man ſich vielfach beklagte, milderte L'Ange zuerſt durch einen Lichtſchirm von Flor oder durch einen ſolchen aus gefirnißtem Eiſenblech. Weniger Beifall fanden die von demſelben angefer-

---

*) Die Geſchichte dieſer Erfindung findet man in: Découverte des Lampes à courant d'air et à cylindre, par Argand. Genève 1785 und in Gilb. Ann. Bd. LVI. S. 391.

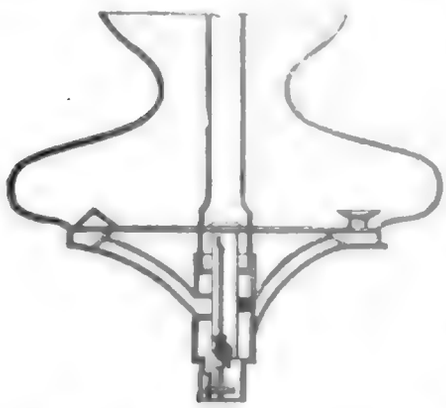
**) Als ein gutes Mittel das Zerſpringen der Lampencylinder zu verhüten haben ſich einige Einſchnitte mit dem Diamanten, die man auf der converen Fläche des Glaſes anbringt, bewährt.

***) Gren's neues Journ. d. Phyſ. Bd. II. S. 49.

tigten gefärbten Cylinder, welche nur ein bleiches, dem Tageslicht ähnliches Licht hindurch ließen. Parrot ließ die Glascylinder so weit die Flamme reichte und selbst darüber hinaus äußerlich matt schleifen und die Gebrüder Girard umgaben zuerst die Flamme mit einer matt geschliffenen Glaskugel, durch welche die Flamme zwar ganz dem Auge entzogen, das Licht aber nur wenig vermindert wurde. Diese Einrichtung hat namentlich einen großen Beifall gefunden. Auf den Nutzen dieser Vorrichtungen hat schon der Graf Rumford *) aufmerksam gemacht.

Die Regulirung des Luftzuges ist nicht die einzige Bedingung, die man bei der Construction der Lampen zu beachten hat: eine weitere Hauptsache ist das Oelreservoir. Der Docht liegt gewöhnlich höher als das Niveau des Oeles, so daß das Oel durch die Capillarröhrchen des Dochtes aufgesogen und der Flamme zugeführt wird. Brennt nun die Lampe längere Zeit hindurch, so sinkt natürlich das Niveau des Oeles in dem Vorrathbehälter in dem Maße, als das Oel verzehrt wird, und um so höher muß das Oel in den Capillarröhrchen des Dochtes steigen, so daß jetzt nicht mehr dieselbe Menge Oel zugeführt wird. Schon deshalb muß die Helle des Lichtes mit der Zeit abnehmen, ganz abgesehen davon, daß durch die in dem Oele enthaltenen Unreinigkeiten die Capillarröhrchen des Dochtes verengt werden. Als weiterer Uebelstand tritt hierzu noch der Schatten, den der Oelbehälter, der sich fast in gleicher Höhe mit dem Brenner befindet, wirft.

Eine Abhülfe für beide Mängel suchte Bonlier, der Nachfolger Argand's und Erbe der Fabrik zu Versoir, dadurch zu erreichen, daß er dem Oelbehälter in der von ihm 1809 construirten Astrallampe (s. beistehende Figur) eine ringförmige Gestalt gab, weshalb diese Art Lampen auch Kranzlampen genannt werden. In diesem flachen Oelbehälter konnte das Niveau des Oeles nur um ein Geringes sinken und die Gleichförmigkeit des Lichtes keine bedeutende Einbuße erleiden. Verwendet man die Astrallampe als Hängelampe, so beeinträchtigt auch der Schatten, der hier mehr nach der Decke hinfällt, nicht; bei stehenden Tischlampen wirkt der Schatten doch noch immer störend, da er, wenn gleich schmal, doch nach allen Seiten hinfallt. Die von Philipps construirte Sinumbralampe — sine umbra, ohne Schatten — (s. umstehende Fig. I.) verdient ihren Namen im der That; der Schatten wird hier fast gänzlich durch eine matte Glasglocke aufgehoben, welche die Flamme noch unterhalb des Kranzes umfaßt und das Licht nach allen Seiten hin zerstreut. Bemerkenswerth ist hier noch die Vorrichtung, durch welche der Docht auf- und abbewegt wird (s. umsteh. Fig. II.). Trieb- und Zahnstange, wie sie bei älteren Lampen, namentlich der sogenannten Studierlampe gebräuchlich sind, findet man hier nicht. Statt dessen windet sich um den inneren Cylinder f ein Schraubengang, in welchen der kurze Stift oder die Nase a des Dochthalters e paßt, so daß der letztere, wenn er gedreht wird, auf und ab steigt. Um diese Drehung hervorrufen zu können, ist der bewegliche Blechcylinder d auf-

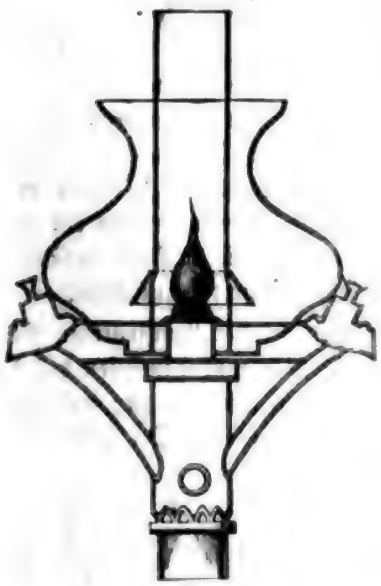


*) Gilbert's Ann. Bd. XLV. S. 341.

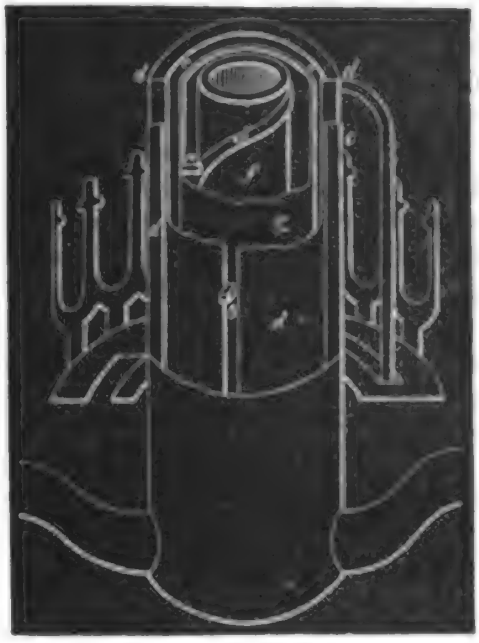
Digitized by Google

geſchlitzt; in dieſe Spalte greift ein zweiter Stift b ein, der an der Außenſeite von e angebracht iſt und d ſteht wieder mit der Gallerie des Zugglaſes in Verbindung, indem erſteres oben in einen breiten Ring ausgeht, der auf den Rand des niedrigeren Cylinders c aufliegt und dieſen erſt zur vollen Brennerhöhe ergänzt.

I.



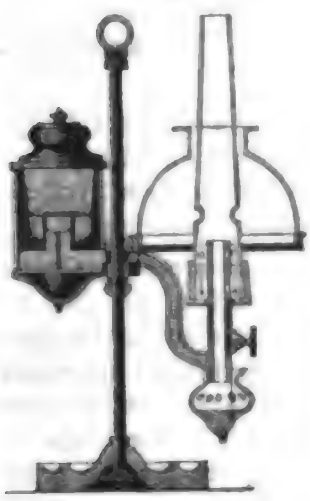
II.



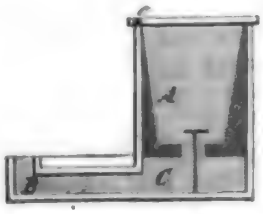
In dieſen Ring ſind nun die Tragſtäbe der Gallerie eingelaſſen, ſo daß, wenn man dieſe dreht, der Docht auf und ab ſteigt. Dieſe Einrichtung iſt auch auf andere Lampen übergegangen.

Mancherlei Vorrichtungen ſind außerdem erſonnen worden, um einen gleichmäßigen Zufluß des Oeles dadurch hervor zu bringen, daß das Oel in demjenigen Theile der Lampe, in welchem ſich der Docht befindet, möglichſt hoch und gleichförmig hoch ſteht. Ordnen wir dieſe nach den Principien, ſo haben wir 1) die Sturz- oder Flaſchenlampen, 2) die aeroſtatiſchen, 3) die hydroſtatiſchen u. 4) die mechaniſchen Lampen.

III.



IV.

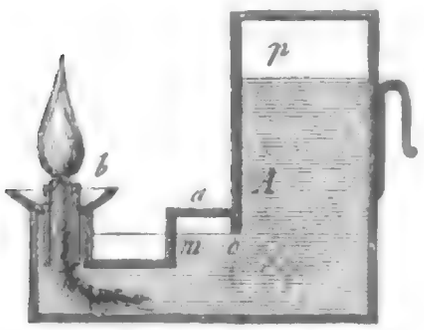


Als Repräſentant der erſteren führen wir die weit verbreitete Schiebelampe (Fig. III.) an. Das Princip ihrer Einrichtung wird uns durch Fig. IV. leicht klar. C und B ſind zwei Gefäße, die mit einander communiciren; A iſt eine bewegliche Blechflaſche — der Oelbehälter — deren Mündung durch ein Ventil verſchließbar iſt. Kehren wir behufs der Füllung die Mündung

nach oben, so fällt das Ventil zurück und die Oeffnung ist frei; ziehen wir das Ventil an seinem Stiele wieder empor, so wird die Oeffnung dadurch verschlossen und man kann das Gefäß umkehren, ohne daß Oel herausfließt. Setzen wir es nun in C ein, so stößt der Stiel des Ventiles auf den Boden auf und durch die nun freigewordene Oeffnung strömt das Oel aus, indem die Luft durch c in den Oelbehälter eintritt und das Oel verdrängt, welches sich nun in den communicirenden Gefäßen ausbreitet, bis es die Oeffnung der Sturzflasche gegen das Eindringen der Luft versperrt. Beim Gebrauch der Lampe sinkt das Niveau des Oeles, da es in B durch die Flamme verzehrt wird, zeitweise, wodurch die Oeffnung frei wird und der Luft der Eintritt wiederum gestattet ist, worauf das Spiel des Ausfließens von Neuem beginnt, bis die Mündung abermals gesperrt wird. Bleibt hier das Niveau des Oeles auch nicht beständig constant, so sinkt es doch nicht bedeutend und nimmt alsbald seine ursprüngliche Höhe wiederum ein, so daß also nicht, wie bei den Kranzlampen, dem Dochte allein die Aufgabe zufällt, das Oel zu einer bedeutenden Höhe aufzusaugen und der Flamme zuzuführen.

Von einfacherer und in mancher Hinsicht zweckdienlicher Construction sind die Lampen Fig. I. und II. ohne Hülle. In Fig. I. dient a zum Einfüllen des Oeles und zum Eintritt für die Luft, sobald das Oel unter n gesunken ist, wo sich dann die Luft in p ansammelt, bis sich die Wand o wiederum im Oel befindet. In

I.



II.

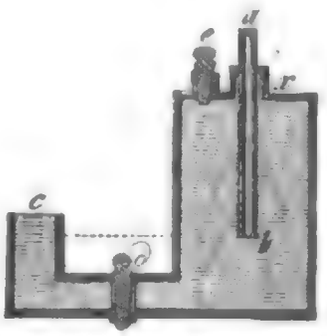


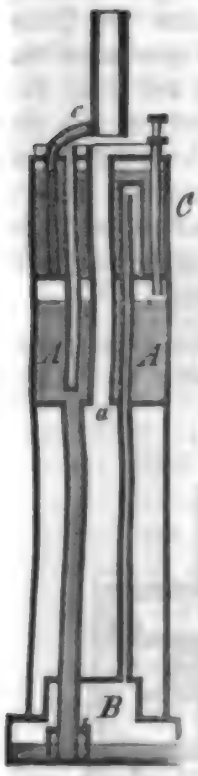
Fig. II. ist das Niveau des Oeles bei c abhängig von dem Stande der Mündung b. Der Zufluß des Oeles läßt sich demnach durch Verschieben des Rohres a b, das sich luftdicht in der Stopfbüchse x bewegt, reguliren. Die Luft tritt hier durch b ein. Die Hähne d und e dienen nur beim Füllen. — Bei den Kranzlampen wendet man dies Princip gleichfalls an.

Ganz frei von Uebelständen sind diese Lampen nicht. Der größte ist der, daß mitunter mehr Oel aus der Sturzflasche ausfließt, als durch die Flamme verzehrt wird. Dies findet sehr leicht statt, wenn die Sturzflasche zum Theil mit Luft erfüllt ist und diese sich bei erhöhter Temperatur bedeutend ausdehnt.

Um den Schatten, der auch hier von dem seitwärts belegenen Oelbehälter hervorgerufen wird, ganz aufzuheben, hat man den Oelvorrath in den Fuß der Lampe verlegt. Dieser eine Zweck wird dadurch vollständig erreicht, aber zugleich giebt man dadurch einen wichtigen Vortheil auf. Statt daß sich bei der Sturzflasche die constante Höhe des Niveaus durch das freiwillige Nachfließen des Oeles von selbst herstellt, muß man hier dafür sorgen, daß das Oel in dem Maße als es verzehrt auch gehoben wird, damit nicht die Aufsaugung des Dochtes gestört

und die Helligkeit der Flamme beeinträchtigt werde. Dieſer Zweck wird durch verſchiedene ſinnreiche, aber auch complicirte und daher koſtbare Apparate erreicht, die zum Theil auf hydrodynamiſchen, zum Theil auf hydroſtatiſchen Principien beruhen, theils wiederum aber nur mechaniſche Vorrichtungen ſind.

Zu den aeroſtatiſchen Lampen gehört die von Girard, deren Einrichtung aus beiſtehender Figur erſichtlich iſt. Das Grundprincip iſt hier der Windkeſſel der Feuerſpritze oder der bekannte Heronsbrunnen. In das geſchloſſene Oelbehälter wird Luft gewaltſam eingepreßt, dieſe drückt auf das Oel und treibt es zur Flamme in die Höhe. Der Raumerſparniß wegen ſind die einzelnen Theile A, B, C, die durch 4 Röhren mit einander verbunden oder von einander getrennt ſind, in einander geſchachtelt und das Ganze hat die Form eines Cylinders. Durch A wird die Oelſäule in dem Rohre ab geſpeiſt; B enthält die eingeſchloſſene Luft, welche den Druck auf die Luft in C überträgt. Die Speiſung des Dochtes findet von hier aus ſtatt, während das Oel in A und B nur als drückende (hebende) Flüſſigkeiten dienen. Zumeiſt iſt es die unbequeme Form, welche bis jetzt der Verbreitung dieſer Lampen hindernd entgegen geſtanden hat und dann iſt die Füllung dieſer Lampe, überhaupt die Vorrichtungen der Art, daß man ſich allgemein davor ſcheut. Man hat es dahin gebracht, daß dieſe Lampe 10 Stunden lang ein gleichmäßig helles Licht liefert, wenn nicht die Veränderungen des Luftdruckes und der Temperatur einen zu bedeutenden Einfluß auf die eingeſchloſſene Luft ausüben.



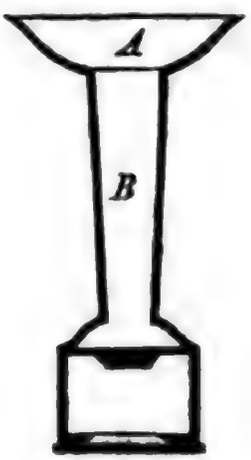
Die Grundlage der hydroſtatiſchen Lampen iſt das bekannte phyſikaliſche Geſetz vom Gleichgewicht der Flüſſigkeiten in communicirenden Röhren. Bei Flüſſigkeiten von verſchiedener Dichtigkeit iſt die Höhe der Flüſſigkeitsſäulen, die einander das Gleichgewicht halten, eine verſchiedene; ſie ſteht im umgekehrten Verhältniß zum ſpec. Gew. der Flüſſigkeiten. Die Flüſſigkeit, welche hier dem Oel das Gleichgewicht halten ſoll, muß alſo ein größeres ſpec. Gew. beſitzen; weiter iſt erforderlich, daß ſie weder auf das Oel noch auf die Lampe eine Einwirkung ausübt, bei mehreren Graden unter Null nicht erſtarrt, dabei wohlfeil iſt und die gehörige Dichtigkeit beſitzt. Die Anwendung dieſes Grundſatzes iſt ſchon ſehr frühe verſucht worden, eben ſo wie die Sturzflaſche. Schon 1787 ließ ſich Keir zu Kentiſh Town eine Lampe dieſer Art patentiren, wobei er eine Salzlöſung oder Mutterlauge als ſchwere Flüſſigkeit angab, deren ſpec. Gew. zu dem des Oeles in dem Verhältniß von 4 : 3 ſtand. Zu dieſer Zeit aber erregte die Argand'ſche Lampe ſo viel Aufſehen, daß jene ſehr wenig bekannt wurde. Es wurden noch andere Conſtructionen dieſer Art verſucht, bei denen Syrup, Honig oder auch Queckſilber als ſchwerere Flüſſigkeit verwendet wurden; ſie fanden aber alle wenig Beachtung, bis endlich 1825 Thilorier in Paris eine Lampe conſtruirte, bei der eine Auflöſung von Zinkvitriol in einem gleichen Gewicht Waſſer als ſchwerere Flüſſigkeit verwendet wird. Die Dichtigkeit dieſer Löſung iſt 1,57 Mal größer, als die des Oeles, ſo daß alſo die Zinklöſung bei einer Höhe von 10″ eine Oelſchicht von 15,7″ Höhe zu tragen vermag. Die Einrichtung dieſer Lampe iſt übrigens der Art, daß ſie ſich vor anderen vortheilhaft auszeichnet.

Die Construction der Thilorier'schen Lampe wird uns aus Fig. I. ersichtlich. A ist verschlossen und steht nur durch die Röhre m n mit der äußeren Luft in Verbindung. Die Räume A und B stehen durch das Rohr a b mit einander in Verbindung, während von B ein Rohr c d bis zum Brenner empor führt. Mittelst des Fig. II. abgebildeten Trichters wird die Lampe gefüllt; zuerst mit der Zinkauflösung und dann mit Oel; der Ueberschuß des letzteren läuft durch das Rohr i k in das Gefäß P, das von Zeit zu Zeit entleert wird. Die Zinkauflösung steht in der Lampe von h bis k, das Oel von k bis d. Das Niveau des Oeles bleibt hier zwar keineswegs bei d genau dasselbe, denn wenn es hier durch die Flamme verzehrt wird, fällt das Niveau der Zinkauflösung bei h und steigt dagegen bei k und dadurch sinkt auch das Oel bei d. Der Unterschied ist aber für die Dauer eines Abends ein sehr unmerklicher, so daß dadurch die Helligkeit des Lichtes wenig beeinträchtigt wird. Er beträgt hier nicht mehr als 2 — 3‴, während das Oel im Brenner der Kranzlampen nicht selten um 1″ fällt. Die Lampe muß jeden Abend mit Oel gefüllt werden, während die Zinklösung stets dieselbe bleibt.

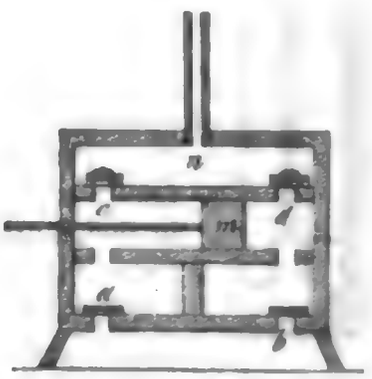
Trotz ihrer großen Vorzüge wird die Verbreitung dieser Lampe durch den einen Umstand sehr behindert, daß sie nämlich, sobald sie angezündet worden ist,

I.

II.



III.



durchaus auf ihrem Platz stehen bleiben muß. Die geringste Bewegung bringt beträchtliche Schwankungen im Gegenspiel der beiden Flüssigkeiten hervor, die sehr leicht ein Verlöschen der Lampe zur Folge haben.

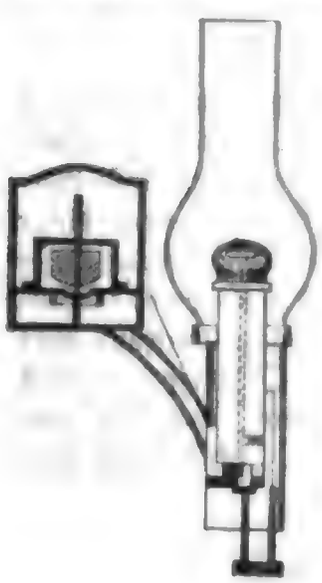
Mehr Eingang haben trotz ihres anfänglich theueren Preises die Lampen gefunden, in denen das Oel durch mechanische Vorrichtungen zu dem Brenner hinauf gepumpt wird. Die erste Lampe dieser Art wurde 1800 von Carcel construirt. Das Oel wird durch ein nicht sehr verwickeltes Werk nach Art der Uhren, das sich im Oelbehälter in dem säulenförmigen Fuße der Lampe befindet, zur Flamme emporgetrieben. Das Pumpwerk (Fig. III.) ist ein viereckiges Gefäß, in dessen mittlerem Theile sich der horizontal liegende Stiefel hin und her bewegt. Der obere Raum n steht mit dem Steigrohr in Verbindung, der untere Raum, in dessen Mitte sich eine Scheidewand befindet, durch zwei Ventile mit dem Oelbehälter. Bewegt sich der Kolben m nach c a hin, so tritt Oel aus dem Behälter in b ein

und das Oel zwiſchen c, a und m wird gezwungen durch c in das Steigrohr zu treten; bei dem Rückgange des Kolbens nach d b, tritt das Oel durch a ein und durch d in das Steigrohr. Durch eine Feder wird das Uhrwerk in Bewegung geſetzt.

Auf dieſe Art wird ſtets mehr Oel zur Flamme hinaufgepumpt, als dieſe zu verzehren im Stande iſt, ſo daß ſtets das überflüſſige Oel an dem Brenner herunter läuft und in den Behälter zurück gelangt, um wiederum hinaufgetrieben zu werden. Aus dieſem Grunde muß man bei dieſen Lampen den Docht höher herausſchrauben als bei den gewöhnlichen Lampen, wodurch die Flamme weiter über den Blechrand gerückt wird und weniger durch Wärmeentziehung leidet. Das eben Geſchilderte bildet die Eigenthümlichkeiten und die Vorzüge der Carcel'ſchen Lampen; das Oel verbrennt hier auf die zweckmäßigſte Weiſe, ſo daß dieſe Lampe die größte Menge Licht liefert, wobei daſſelbe während der ganzen Brennzeit ſtets gleichmäßig bleibt, weil eine Verkohlung des Dochtes, alſo eine Verringerung der Aufſaugung des Oeles nicht ſtattfindet.

Die Regulateur- oder Moderateurlampen ſind nach einem gleichen Princip conſtruirt, dabei einfacher, wohlfeiler und weniger leicht in Unordnung gerathend als die Carcel'ſchen Lampen. Dadurch iſt das Hinderniß — der theuere Preis — beſiegt, das die allgemeine Verbreitung, welche die Carcel'ſche Lampe ihrer Vorzüge wegen ſo ſehr verdiente, bedeutend beeinträchtigte. Bei den Regulateurlampen wird das Oel dem Brenner durch den Druck einer Spiralfeder zugeführt. Die Spannung der Feder verändert ſich aber und in demſelben Verhältniß nimmt natürlich auch die Zufuhr des Oeles ab. Deshalb hat Richardſon hier eine Verbeſſerung eingeführt; die zuſammengedrückte Feder treibt das Oel über einen Kolben und ſteht im Gleichgewicht mit der Belaſtung; dieſe nimmt ab in dem Maße als das Oel verbrennt und dann hebt ſich die Feder. Ueberdies iſt die Feder genau adjuſtirt und ihre Ausdehnung iſt gleich dem Volumen des verbrennenden Oeles, wodurch immer ein gleiches Niveau erhalten bleibt.

Wir können hier nicht alle Verbeſſerungen anführen, welche man ſeit der Zeit der Argand'ſchen Lampen dem Publikum geboten hat. Ihre Zahl iſt eine ſehr große; freilich darunter die meiſten von einem ſehr geringen Werthe. Wir heben hier nur noch einige Verſuche hervor, bei welchen man durch Veränderungen an dem Cylinder oder den Brennern die Helligkeit des Lichtes bedeutend vergrößern wollte. Es ſind hier beſonders zu nennen die ſogenannte Liverpool-Lampe, die Frankenſtein'ſche Solarlampe und die Benkler-Ruhl'ſche Lampe.



Die Liverpoollampe (ſ. beiſtehende Figur) iſt ſchon vor längerer Zeit conſtruirt; der Brenner iſt der gewöhnliche Argand'ſche, nur iſt hier die Abänderung getroffen, daß in der Axe deſſelben ein Draht angebracht iſt, der bis zur Höhe von einigen Linien über den oberen Rand hervorragt und an ſeinem Ende eine kleine runde Metallplatte trägt. Der Zweck dieſer Vorrichtung iſt, den ſenkrecht aufſteigenden inneren Luftſtrom zu brechen, ſo daß er alſo beinahe horizontal in die Flamme eintritt, wodurch dieſe zur Seite hin, alſo kugelförmig ausge-

breitet wird und dadurch auch dem äußeren aufsteigenden Luftstrom viele Berührungspunkte darbietet. Durch diese Einrichtung wird wegen der Form der Flamme auch eine Formveränderung des Cylinders bedingt, der an seinem unteren Ende kugelförmig ausgebaucht ist. Auf diese Art erzielt man eine sehr vollständige Verbrennung und dadurch ein sehr helles und weißes Licht. Bei der Franken-stein'schen Solarlampe bewirkt man ein Gleiches durch Einschieben eines zweiten Dochtes von Spitzengrund innerhalb des runden. Der erstere ist mit Kreide überzogen und daher unverbrennlich.

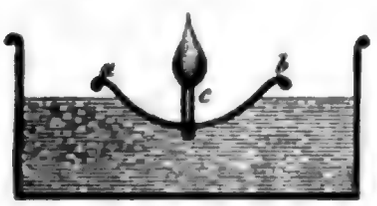
Weniger gute Erfolge hat die Veränderung bewirkt, welche zuerst Deane in England mit dem Cylinder vornahm. — Benkler und Ruhl in Wiesbaden verpflanzten diese neue Einrichtung 1840 nach Deutschland. Die Form, welche sie dem Cylinder gaben, führt uns beistehende Figur vor. Der Cylinder wird hier aus zwei Glasstücken, einem weiteren a und einem engeren b zusammengesetzt. Die Eigenthümlichkeit ist ein etwas gewölbter Deckel von Blech, der auf dem unteren weiteren Theile ruht und gleichzeitig den Träger für den engeren Cylinder abgiebt. Beide Theile des Cylinders sind durch einen sogenannten Bajonetverschluß fest mit einander verbunden. Durch die plötzliche Verengung, die hier auf so eigenthümliche Weise bewirkt wird, verlängert sich die Flamme auf das Dreifache, wobei sie allerdings eine bedeutende Zusammenziehung erleidet. Der äußere und innere Luftstrom wirken hier auf das kräftigste zusammen und da jeder Ueberfluß von Luft ausgeschlossen ist, findet allerdings eine sehr vollständige Verbrennung statt. Ein kleines Experiment lehrt uns die hohe Temperatur dieser Flamme kennen. Ein Zinkstab schmilzt über der Oeffnung des Cylinders fast augenblicklich. Bei einer so bedeutenden Hitze muß allerdings die Flamme eine bedeutende Helle verbreiten, da sich hier die einzelnen Kohlentheilchen in einer vollständigen Weißglühhitze befinden. Das Licht besitzt eine außerordentliche Weiße, so daß es dem besten Gaslicht nicht nachsteht, weshalb man diese Lampen auch Gaslampen genannt hat. Die Lichtstärke ist zwar bis zu zwei Mal so groß wie die der anderen Lampen, dafür aber ist auch der Verbrauch an Oel um so größer, so daß also hier keine Verbesserung vorliegt.

Diesen Umstand hatte man bei den Versuchen, die der physikalische Verein zu Frankfurt a. M. veranlaßt wurde zu machen, ganz übersehen. Das vortheilhafte Zeugniß, welches man hier diesen Lampen ausstellte, bewirkte eine so große Verbreitung derselben, daß bereits gegen Ende 1841 monatlich 2400 Lampen dieser Art in der Fabrik zu Wiesbaden angefertigt wurden. Bald aber verschwand dieser Nimbus durch die sorgfältigen Versuche, welche Karmarsch und Heeren anstellten *) und zwar um so leichter, als die weiteren Versprechungen durchaus nicht von der Lampe geleistet wurden. Sie sollte nämlich geringere Oelsorten, ja selbst Thran vollständig und ohne Verkohlung des Dochtes verbrennen, was hier aber eben so wenig ausgeführt wurde, wie bei jeder anderen Lampe. Aus diesen Ver-

*) Dingler's polyt. Journ. LXXXVIII. S. 223.

ſuchen geht hervor, daß bei dieſen Lampen, um gleich viel Licht hervorzubringen, eben ſo viel Oel verbraucht wird, als in gut eingerichteten gewöhnlichen Lampen. Nur bei Lampen in kleineren Dimenſionen ſcheint eine etwas vortheilhaftere Verbrennung des Oeles ſtattzufinden, d. h. eine größere Lichterzeugung aus einem gleichen Gewicht Oel.

Wir haben hier noch die Lampe ohne Docht zu beſprechen. Gewöhnlich beſteht dieſe Lampe (ſ. beiſtehende Figur) aus einem Schälchen von Metall, in deſſen Mitte ein offenes, enges Glasröhrchen eingekittet iſt, ſo daß, wenn das Schälchen auf Oel ſchwimmt, das obere Ende des Röhrchens mit dem Oele ungefähr in einem Niveau liegt und das untere Ende in das Oel eintaucht. Das Röhrchen füllt ſich daher bis zur Mündung mit Oel und dieſes brennt daſelbſt, nachdem man es angezündet hat, ohne eines Dochtes zu bedürfen, mit einer Flamme, die an Helligkeit und Lebhaftigkeit die gewöhnlichen Nachtlampen weit übertrifft. Man verfertigt dieſe Vorrichtung auch aus Glas. Erfinder dieſer Lampe iſt Blackadeler, Mitglied der Königl. Geſellſchaft in Edinburg, der verſchiedene Conſtructionen dieſer Lampe beſchrieben hat *).



Beim erſten Auftreten hegte man große Erwartungen von dieſer Lampe, die ſich jedoch nicht beſtätigt haben. Die Bedingungen, unter denen hier das Oel verbrennt, ſind für die Beleuchtung die allerungünſtigſten. Einmal iſt die Flamme ſehr dürftig und verbreitet daher nur ein ſehr geringes Licht. Man darf nicht den Glauben hegen, daß man dieſen Uebelſtand durch eine weitere Röhre beſeitigen könne; denn eine ſolche, ſobald ſie eine gewiſſe Grenze überſchreitet, würde gar keine Verbrennung mehr zulaſſen. Zudem wird wegen des tiefen Standes der Flamme nur die Decke erleuchtet, aber nicht die untere Gegend des Zimmers.

Dieſe Lampe iſt beſſer als eine jede andere geeignet zu zeigen, daß die Hitze, welche bei der Verbrennung fetter Subſtanzen entſteht, hinreicht zur Zerſetzung der Fette, ſo daß dadurch andauernd Gas aus ihnen entwickelt wird, wodurch eben die Verbrennung unterhalten wird. Das Ende der Glasröhre iſt in der That ein kleiner Keſſel, in welchem das Oel durch die Flamme im Sieden erhalten und in Gas verwandelt wird. Nicht durch Capillarität, wie man wohl meint, ſondern einfach in Folge des Geſetzes vom Gleichgewicht der Flüſſigkeiten gelangt das Oel hierher, denn das Schälchen iſt ſo beſchwert, daß das Oel in der Röhre ſich mit dem äußeren Niveau in Gleichgewicht ſetzen muß. Wollte man eine engere Röhre nehmen, ſo würde ſich dieſe ſehr bald durch Ablagerung von Kohle verſtopfen und die Flamme verlöſchen.

Die große Ausbreitung, welche die Lampen in dem kurzen Zeitraum, ſeitdem die Verbeſſerungen ins Leben traten, gefunden haben, kommt theilweiſe mit auf Rechnung der Chemie. Nicht allein, daß dieſe zum Theil eben lehrte, welcher Art die Verbeſſerungen ſein mußten, ſondern ſie gab erſt dadurch die Möglichkeit eines guten Gedeihens, daß ſie lehrte das Oel zu reinigen und von den Beſtandtheilen zu befreien, die einer vollſtändigen Verbrennung ſelbſt bei der beſten Conſtruction hindernd im Wege ſtanden. Die beſte Methode, um das Rüböl von den Schleim-

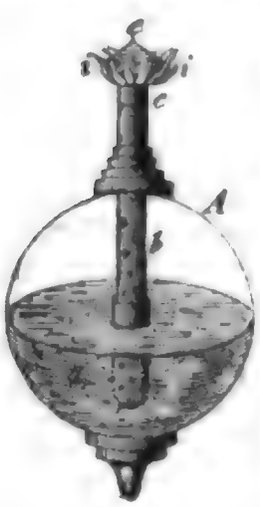
*) Edinb. new phil. Journ. Vol. I. p. 52.

theilen, durch welche die Capillarröhrchen der Dochte sehr bald verstopft werden, zu befreien, verdanken wir Thénard. Sie ist noch heute sehr allgemein im Gebrauch und besteht darin, dem Oel eine geringe Menge Schwefelsäure hinzuzusetzen und dann die Säure wiederum durch Waschen mit Wasser zu entfernen. Außer dem Rüböl werden noch mancherlei andere fette Oele zum Speisen der Lampen verwendet; mitunter sogar auch feste Fette, wie Schweineschmalz, Talg ꝛc.

In neuerer Zeit hat man statt der fetten Oele auch flüssige Kohlenwasserstoffe in den Gebrauch gezogen. Wegen ihres hohen Kohlenstoffgehaltes erfordern sie eigenthümliche Lampen mit einem bedeutenderen Luftzuge, denn ohne diesen würden sie mit stark rußender Flamme verbrennen. Das Licht ist natürlich ein bei weitem weißeres und vorzüglicheres. Als Brennmaterial verwendet man Terpentinöl, das durch Destillation mit einem gleichen Gewicht Wasser und dem hundertsten Theil des Gewichtes der ganzen Mischung frisch gelöschtem Kalk von seinem Harzgehalte befreit wird. Mit dem Camphin, wie man diesen Leuchtstoff nennt, destillirt zugleich auch Wasser über, das sich aber sehr bald sondert, so daß man das oben aufschwimmende Camphin mittelst eines Hebers abziehen kann. Die letzten Antheile des Wassers, welche dem Camphin ein trübes Ansehen verleihen, entfernt man durch Schütteln mit Löschpapier, wobei man 2 bis 3 Bogen auf jede 10 Pfd. nimmt. Gewöhnlich erhält man von 100 Th. Terpentinöl 90 bis 95 Th. Camphin, das, wenn es nicht wohl verkorkt aufbewahrt wird, mit der Zeit an Güte verliert. Die Zusammensetzung des Camphins besteht nach der Formel $C^5 H^4$ in 100 Th. aus 88,24 C und 10,76 H.

Die Lampen, in denen das Camphin verbrannt wird, sind unter dem Namen Younglampe, Imperial- oder Vestalampe aus England eingeführt. Sie vereinigen den stark verengten Cylinder, ähnlich dem bei den Benkler- und Ruhl'schen Lampen, mit dem Knopf der Liverpoollampe. Sie erfordern jedoch in ihrer Behandlung eine große Aufmerksamkeit. Ist z. B. der Docht nicht vollkommen gleich abgeschnitten, so setzt sich bei der Verbrennung eine große Menge Ruß ab. Durch diesen Umstand hat sich der Enthusiasmus, mit welchem sie bei dem ersten Auftreten in Deutschland aufgenommen wurden, bedeutend abgekühlt.

Lüdersdorff suchte diese Klippe dadurch zu umgehen, daß er den hohen Kohlenstoffgehalt des Terpentinöls durch Beimengungen veränderte. Hier dient starker Alkohol von 90 Proc. und zwar 4 Raumtheile desselben, wodurch der Kohlenstoffgehalt des Gemisches auf 63 Proc. oder das 5fache des Wasserstoffs herabgesetzt wird, während er im Camphin das 8fache des letzteren beträgt. Der Kohlenstoffgehalt ist hier zwar geringer wie beim Oel und Talg und daher auch die Lichtmenge aus einem gleichen Gewicht, der letztere Umstand wird jedoch durch die Schnelligkeit, mit der dieses Gemisch verdampft, wieder aufgehoben, indem hier in einer gleichen Zeit eine viel größere Menge zur Verbrennung gelangt, wodurch freilich die Kosten gesteigert werden.



Durch nebenstehende Figur wird die Einrichtung der Lüdersdorff'schen Dampflampen verdeutlicht. Man füllt hier die große Kugel A, durch welche ein messingenes Rohr b geht, mit der Mischung aus Terpentinöl und Alkohol. In dem Rohr befindet sich ein dicker Docht, der bis c geht und

deſſen Dicke zu der Zahl der Flammen in einem beſtimmten Verhältniß ſteht. Weiter iſt auf dem Rohr ein hohler Knopf e befeſtigt, unter dem rund um das Rohr herum 8 bis 10 feine Löcher i i angebracht ſind. Das Rohr iſt ſeiner ganzen Länge nach mit ſolchen Löchern beſetzt, um das Aufſteigen der Flüſſigkeit in dem Docht zu erleichtern. Will man die Lampe anzünden, ſo erhitzt man das Rohr unterhalb c mit einer Spiritusflamme; die Miſchung verwandelt ſich dadurch in Dampf, der aus den feinen Oeffnungen unterhalb des Knopfes ausſtrömt und ſich entzündet. Die Wärmeleitungsfähigkeit des Metalles reicht hin, um die Dampfbildung aus der den Docht tränkenden Flüſſigkeit und ſomit auch die Verbrennung zu unterhalten. Um die Erwärmung der Flüſſigkeit ſelbſt zu verhindern, umgiebt man den Brenner an ſeinem unteren Ende mit einem Rohre, das einen guten Viertelzoll weiter und unten durch einen kranzförmigen Boden mit dem erſteren vereinigt iſt, ſo daß alſo die Flüſſigkeit ſelbſt den Brenner von außen nicht berührt. Mitunter iſt das Rohr auch ſelbſt an einer unteren Stelle mit einer Schale umgeben, die man mit Alkohol füllt und dieſen entzündet, um ſo die Verbrennung einzuleiten. Wegen der Koſtſpieligkeit hat dieſe Art der Beleuchtung keine große Verbreitung gefunden, wenn ſchon ſie ein ſchönes Licht liefert und hier alle Unbequemlichkeiten der gewöhnlichen Dochtlampen aufgehoben ſind.

Die allgemeine Verbreitung der Gasbeleuchtung in England hat Veranlaſſung gegeben zu einer fabrikmäßigen Verarbeitung des bei der Darſtellung des Leuchtgaſes in großer Menge abfallenden Theeres. Man gewinnt daraus durch Deſtillation eine Reihe flüſſiger Kohlenwaſſerſtoffe, deren erſtes Glied das Benzol $C^{12}H^6$ liefert. Dieſe Kohlenwaſſerſtoffe benutzt man gleichfalls zur Beleuchtung und zwar in einem ſolchen Maße, daß man ſie ſelbſt in England und Belgien eigens aus Steinkohlen darſtellt. Aehnliche Producte gewinnt man in Frankreich aus dem bituminöſen Schiefer. Zu ihrer Verbrennung dienen gleichfalls dochtloſe Lampen, die von Beale und d'Hanens conſtruirt ſind. Beide Lampen werden mittelſt eines Blaſebalges durch einen Luftſtrom von beträchtlicher Schnelligkeit geſpeiſt, der bei der erſteren, die mit einer einzigen Flamme brennt, das Oel durchſtreicht und ſich mit dem Dampf deſſelben beladet. Die andere Lampe hat eine ähnliche Einrichtung wie die Lüdersdorff'ſche. Das Licht beider Lampen iſt blendend weiß und trotz des unangenehmen Geruches der Theeröle verbrennen ſie vollſtändig geruchlos; nur beim Auslöſchen macht ſich der durchdringende Geruch für kurze Zeit bemerklich. Und deshalb ſagt Knapp in ſeinem 1844 erſchienenen Lehrbuch der Technologie Bd. I. S. 130, daß ſich dieſe Art der Beleuchtung wohl für Straßen und Werkſtätten, aber nicht für Zimmer eigne.

Wenige Jahre haben indeſſen hingereicht, um dieſer neuen Beleuchtungsart auch bei uns eine weite Verbreitung zu verſchaffen, ja ſie droht ſogar binnen Kurzem bei uns eine vollſtändige Revolution in der bisherigen Beleuchtungsweiſe hervorzurufen. Bis jetzt haben wir nur zwei Fabriken in Deutſchland, welche dieſe flüſſigen Kohlenwaſſerſtoffe darſtellen. Die eine iſt die Auguſtenhütte zu Beuel bei Bonn (Wiesmann u. Comp. gehörig), die andere iſt von einer franzöſiſch-deutſchen Geſellſchaft in Hamburg errichtet; beide wurden auf der allgemeinen deutſchen Ausſtellung zu München (1854) mit der großen Denkmünze ausgezeichnet. Die erſtere verarbeitet täglich 150 Tonnen Blätterkohle, die in der Nähe des Siebengebirges in vereinzelten Flötzablagerungen in einer Mächtigkeit von $2^1/_2$ bis 10′ vorkommt und im Durchſchnitt 11,73 Pfund dieſer leichten Kohlenwaſſerſtoffe

Digitized by Google

(Hydrocarbür, Photogène, Mineralöl) liefern soll. Trotz der kurzen Zeit des Bestehens dieser Anlage und der Schwierigkeiten, mit denen jeder neue Industriezweig zu kämpfen hat, ist die Nachfrage so groß, daß man damit umgeht, die Fabrik bis zu einer täglichen Verarbeitung von 500 Tonnen Rohmaterial zu vergrößern. Die Hamburger Fabrik arbeitet schon jetzt in einem weit großartigeren Maßstabe. Das Rohmaterial ist hier die bekannte schottische Boghead Coal.

Ein großes Verdienst für die schnelle Ausbreitung dieser neuen Beleuchtungsart hat sich die bekannte Fabrik von C. H. Stobwasser u. Comp. in Berlin durch die Anfertigung vorzüglicher Lampen für das neue Beleuchtungsmaterial erworben, so daß dieses sich nicht allein in den Wohnzimmern das Bürgerrecht erworben, sondern sogar in den Salons festen Fuß gefaßt hat. Das Mineralöl liefert ein sehr schönes Licht und die Ersparung an der Geldausgabe ist gleichzeitig nicht unbeträchtlich, so daß jeder die neue Beleuchtungsart für die vorzüglichste erklärt, deren er sich bis jetzt bedient habe. Aus genauen Versuchen hat sich ergeben, daß bei verschiedenen Lampen folgende Resultate erzielt werden:

für 6 Pfennige Oelconsum pro Stunde Lichtmenge gleich 16 Kerzen
" 4 " " " " " " 10 "
" $2^1/_2$ " " " " " " 6 "
" $1^1/_2$ " " " " " " 3 "

Es scheint demnach, daß das Mineralöl berufen sei selbst den Vorwurf zu entkräften, den man bis jetzt der Wissenschaft macht, daß nämlich alle Verbesserungen, die sie in die Beleuchtung eingeführt habe, nur dem Bemittelten und nicht dem Armen zu Gute kämen. Einer wie großen Zukunft diese neue Beleuchtungsart entgegen geht, erkennt man daraus, daß der Preiscourant der oben genannten Fabrik von 1854 nicht weniger denn 196 verschiedene Sorten Mineralöllampen im Preise von einem bis zu 125 Thlr. pro Stück aufführt, eine bedeutend größere Zahl als für das gewöhnliche Oel, während wir im Ganzen nur 8 verschiedene Lampen für Gasäther aufgeführt finden. Hiernach erscheint die Einbürgerung der neuen Beleuchtung in jedes Haus und für alle nur erdenkbaren Arten der Anwendung völlig gesichert. Fürs erste jedoch war keine Aussicht vorhanden, daß dies je in Erfüllung gehen würde. Das Material, welches die Bonner Fabrik verarbeitet, kommt nur selten in der Natur vor und dann erklärte man öffentlich, daß eben nur dies zur Gewinnung der Oele geeignet sei. S. a. d. Art. Paraffin. W. B.

Landrauch, s. Höhenrauch.

Landregen, s. Regen.

Landtrombe, s. Wettersäule.

Laterne, magische, s. Zauberlaterne.

Laugensalz, s. Alkali.

Lebensluft, s. Sauerstoff.

Leere, Torricellische, s. Barometer; **Boyle'sche Leere**, s. Luftpumpe.

Legirung, Alliages, Alloys of metalls, nennt man die mannigfaltigen Verbindungen der Metalle unter einander, die man durch Zusammenschmelzen derselben erhält. Die Verbindungen des Queckſilbers mit anderen Metallen führen jedoch den Namen Amalgame. Eine andere Ausnahme in der Benennung machen die Verbindungen der stark elektronegativen Metalle mit den elektropoſitiveren, die in der Regel nach bestimmten Verhältnissen vor sich gehen.

Sie haben große Aehnlichkeit mit den Schwefel- und Phosphormetallen und werden daher auch auf ähnliche Weise benannt (Antimon-, Tellur-Metalle, z. B. Tellur-Wismuth, Antimon-Blei ꝛc.). Da die Verhältniſſe dieſer Verbindungen oft der Art ſind, daß ſie ſich durch Oxydation in Sauerſtoffſalze verwandeln laſſen, ſo kann man umgekehrt durch Reduction auch dieſe in jene verwandeln. Es iſt jedoch nicht zu verkennen, daß auch in den Verbindungen, für die der Name Legirung übrig bleibt, eben ſo wie hier beſtimmte Miſchungsverhältniſſe nach Aequivalenten auftreten, daß alſo auch hier die Vereinigung eine wirklich chemiſche iſt. Zu dieſer Annahme berechtigen uns die auffallenden Veränderungen, welche die Metalle durch dieſe Vereinigung in ihren phyſikaliſchen Eigenſchaften erlangen. Am meiſten fällt dies bei der Farbe in die Augen. So giebt z. B. das rothe Kupfer mit dem weißen Zink das goldgelbe Meſſing. Durch Zink und Nickel wird die rothe Farbe des Kupfers ganz aufgehoben, eben ſo die gelbe des Goldes durch eine geringe Menge Silber. Durch einen Umſtand aber wird das Geſetzmäßige in dieſen Verbindungen verdeckt. Sie laſſen ſich nämlich, eben ſo wie die Verbindungen der Metalle mit Nichtmetallen, in jedem beliebigen Verhältniß ſowohl unter ſich, wie auch mit Metallen zuſammenſchmelzen und daher gelingt es ſchwierig oder auch gar nicht, die Verbindungen in beſtimmten Verhältniſſen von den übrigen Beimengungen zu ſondern. Bei einigen Miſchungen gelingt es jedoch, indem ſich bei langſamem Erkalten größerer Mengen Verbindungen in beſtimmten ſtöchiometriſchen Verhältniſſen kryſtalliniſch ausſondern. Solche Verbindungen aus Kupfer und Zinn und Kupfer und Zink beſtehend hat Crookewit *) dargeſtellt. Auch von Anderen ſind die Verhältniſſe näher ſtudirt worden; ſo von Bieffel **) und Levol ***).

Rudberg hat gefunden ****), daß die Abnahme der Temperatur beim Erkalten der Legirungen, ſobald dieſelben eben nicht nach ſtöchiometriſchen Verhältniſſen zuſammengeſchmolzen ſind, ſondern eines der Metalle im Ueberſchuß enthalten, nicht regelmäßig vor ſich geht. Dieſer Ueberſchuß, der, ſo lange die Maſſe flüſſig iſt, mit der chemiſchen Legirung mechaniſch gemiſcht bleibt, geht bei der Abkühlung früher in den feſten Zuſtand über, als die chemiſche Verbindung ſelbſt. Hierbei tritt er ſeine latente Wärme ab, und dadurch wird veranlaßt, daß das Thermometer einige Zeit auf einem Punkt, der oberhalb der Erſtarrungstemperatur der Legirung liegt, verweilt. Je größer der Ueberſchuß des einen Metalles in der Miſchung iſt, bei einer deſto höheren Temperatur erfolgt dieſer Uebergang in den feſten Zuſtand. Das erſtarrte Metall bleibt jetzt mechaniſch vertheilt in der noch fließenden Legirung, bis auch dieſe erſtarrt und ihre latente Wärme abgiebt, wodurch dann das **zweite und immer auf demſelben Grad erfolgende Stillſtehen des Thermometers hervorgebracht wird. Bei Legirungen aus drei Metallen giebt es ſtatt des einen beweglichen Punktes, bei welchem das Thermometer eine Zeit lang ſtehen bleibt, deren zwei. In Bezug auf letztere haben A. F. und L. F. Svanberg weitere**

*) Specimen chemicum de conjunctionibus chemicis metallorum. Amstelodami 1848. Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXVI. S. 289.

**) Compt. rend. T. XXXVII. p. 450.

***) Journ. de Pharm. T. XVII. p. 111 und Ann. de Chim. et de Phys. [3] T. XXXIX. p. 460.

****) Pogg. Ann. Bd. XVIII. S. 240.

Unterſuchungen angeſtellt *). Bei Legirungen, die genau nach ſtöchiometriſchen Verhältniſſen gebildet worden ſind, fand Rudberg nur einen Erſtarrungspunkt und hielt er ſolche Verbindungen daher für ſtabil. Perſon hat nun aber gezeigt **), daß auch dieſe ſich nach der Erſtarrung freiwillig zerſetzen. Bei der d'Arcet'ſchen Legirung ($Pb^2 Sn^2 Bi^3$) findet nach der Erſtarrung eine gleichmäßige Abnahme der Wärme bis gegen 57° hin ſtatt; dann ſteht das Thermometer plötzlich ſtill und ſteigt ſogar um 1 oder 2°. Die Legirung dehnt ſich nun ſo bedeutend aus, daß ein Cylinder von dünnem Kupfer, in welchen man die Legirung gegoſſen hat, zerreißt. Die ungemeine Langſamkeit der weiteren Erkaltung führt auf eine andauernde Wärmeentwickelung. Kühlt man die Legirung plötzlich, z. B. durch Eintauchen in kaltes Waſſer ab, ſo ſinkt die Temperatur ſelbſt unter 57°, ohne daß die Zerſetzung Zeit hat einzutreten. Dieſe bleibt aber nicht aus, ſondern tritt vielmehr mit größerer Energie hervor, d. h. in weit kürzerer Zeit, ſo daß nun eine bedeutende Temperaturerhöhung wahrzunehmen iſt, z. B. von 36 bis auf 70°. Dieſe Erſcheinung iſt ein guter Verſuch für Vorleſungen; beſitzt der Cylinder einen Durchmeſſer von 3 bis 4 Centimeter, ſo können die erſten Perſonen, die ihn anfaſſen, ihn unbeſchadet in die Hand nehmen, während die folgenden ſich die Finger daran verbrennen.

Die Thatſache dieſer freiwilligen Erhitzung nach einer plötzlichen Erkaltung war ſchon früher bekannt. Berzelius erklärte ſie durch die Annahme, daß das Innere noch flüſſig ſei, wenn bereits das Aeußere erkaltet iſt. Hiernach wäre die latente Wärme, welche durch die Erſtarrung des flüſſigen Theiles entwickelt wird, die Urſache der Temperaturerhöhung. Warrington hat indeſſen gezeigt, daß Inneres und Aeußeres gleichmäßig erkalten. Ueberdies hat er eine merkwürdige Aenderung des Gefüges nach der Wärme-Entwickelung nachgewieſen; während der Bruch zuvor vollkommen glänzend, war er nun ganz matt.

Die Roſe'ſche Legirung verhält ſich eben ſo. Viel weniger ſtabil ſind die Legirungen $Bi^3 Pb^2$ und $Bi^3 Sn^7$; hier tritt die Zerſetzung ſogleich bei der Erſtarrung oder unmittelbar hinterher ein. Hiernach ſcheint es Perſon, daß die Verbindungen zwiſchen den Metallen nur eine momentane, auf gewiſſe Temperaturen beſchränkte Exiſtenz beſitzen, wenigſtens im ſtarren Zuſtande, ſo daß er es für zweifelhaft hält, ob dieſe Legirungen, nach der vollſtändigen Erkaltung etwas anderes als bloße Gemenge ſeien.

Zumeiſt bilden ſich beim langſamen Erkalten der geſchmolzenen Legirungen mehrere Verbindungen in beſtimmten Verhältniſſen. Dieſe kann man mehr oder weniger vollſtändig dadurch trennen, wenn man die Legirung längere Zeit einer höheren Temperatur ausſetzt, die nur ganz allmälig bis nahe an den Schmelzpunkt derſelben geſteigert wird. So beobachtet man z. B. bei den Sicherheitsventilen der Dampfkeſſel, die aus leicht ſchmelzbaren Legirungen beſtehen, daß unter dieſen Umſtänden eine leichtflüſſige Legirung von ſtets gleicher Zuſammenſetzung herausgetrieben wird, während der Reſt der Legirung noch feſt bleibt. Dieſes Verhalten giebt Gelegenheit manche Metalle auf leichte Weiſe von einander zu trennen. Beſteht nämlich eine Legirung aus zwei Metallen, deren Schmelzpunkte weit von

*) Pogg. Ann. Bd. XXVI. S. 280.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXVI. S. 588.

einander entfernt liegen und deren Verwandtschaft zu einander nicht sehr groß ist oder überwiegt das leichter schmelzende der Menge nach das schwerer schmelzende bedeutend, so gelingt diese Trennung sehr leicht. Es bleibt dabei nur ein kleiner Antheil des ersteren mit dem letzteren zurück. Solche Operationen kommen bei der Ausbringung der Metalle im Großen oft in Anwendung; man nennt sie das Saigern.

Nicht alle Metalle verbinden sich unter einander zu Legirungen. Metalle, die sich mit vielen anderen zusammenschmelzen lassen, kann man mit einzelnen Metallen nicht vereinigen. So verbindet sich z. B. das Silber, das sich mit Gold, Kupfer und Blei in allen Verhältnissen legirt, mit Eisen nur in fast verschwindender Menge. Auch Zink und Blei vereinigen sich nur bei Zusatz von Zinn zu einer gleichmäßigen Legirung. Schmilzt man Metalle zusammen, die eine große Verschiedenheit in ihrem spec. Gewicht besitzen, so kann eine gleichmäßige Vereinigung nur durch anhaltendes Umrühren erzielt werden, weil sich sonst das schwerere Metall mehr zu Boden setzt und dann die Legirung ungleich ausfällt. Einige Legirungen kommen auch in der Natur vor. Es sind dies besonders die oben bereits angeführten Verbindungen der stark elektronegativen Metalle mit den elektropositiveren und außerdem besonders noch Verbindungen von Gold mit Silber und Silber mit Blei. Auch das gediegene Platin bildet eine sehr zusammengesetzte Legirung.

Wie bei der Farbe sind auch die übrigen physikalischen Eigenschaften der Legirungen nicht immer das mittlere Resultat aus denen der einzelnen Bestandtheile. Die Härte ist meist größer als die der einzelnen Metalle. Eben so schmelzen sie bei einer weit niederern Temperatur, als man nach dem Schmelzpunkt der einzelnen Gemengtheile erwarten sollte. Der Schmelzpunkt einer Legirung ist sogar häufig niedriger als der Schmelzpunkt des am Leichtesten schmelzenden, in der Mischung enthaltenen Metalls. So schmilzt das Blei bei 325°

Wismuth bei 265°

Zinn . . bei 228°.

Und doch schmilzt eine Legirung aus 5 Th. Blei, 3 Th. Zinn und 8 Th. Wismuth bereits bei 95°, also unter dem Kochpunkt des Wassers.

Aehnliches findet auch in Bezug auf das spec. Gewicht der Legirungen statt. In der Regel ist es größer, als das Mittel aus den spec. Gew. der einzelnen Bestandtheile; meistens erfolgt also hier, wie bei jeder chemischen Vereinigung zweier Körper, eine Verdichtung. Aber solches tritt nicht immer ein. Es existirt auch eine ganze Reihe von Legirungen, bei denen der umgekehrte Fall eintritt, mithin die Dichtigkeit eine geringere ist als die mittlere Dichtigkeit der Metalle, aus denen sie bestehen. Früher glaubte man aus dem spec. Gew. der Legirung und dem der einzelnen Metalle die Mengenverhältnisse der einzelnen Bestandtheile berechnen zu können; dies ist jedoch nicht der Fall.

Bei der Verbindung der einzelnen Bestandtheile während des Schmelzens wird oft eine beträchtliche Menge Wärme frei; so z. B. beim Zusammenschmelzen von dünnen Blättchen Platin und Zinn. Dasselbe tritt auch beim Mischen zweier für sich geschmolzener Metalle ein; bei Blei und Wismuth erhöht sich die Temperatur um 30° und beim Mischen von 70 Th. geschmolzenem Kupfer und 30 Th. geschmolzenem Zink findet eine so bedeutende Temperaturerhöhung statt, daß ein Theil der Mischung förmlich umhergeschleudert wird.

Im Allgemeinen ſind die Legirungen weniger gute Leiter der Elektricität und Wärme als die einzelnen Metalle, aus denen ſie beſtehen. Ueber das Verhalten der Metallmiſchungen in der Thermokette hat neuerdings Rollmann ausführliche Unterſuchungen angeſtellt *); eben ſo Wertheim über die Elaſticität und Cohäſion der Legirungen **).

Sehr oft werden erſt die in den Gewerben verwendeten Metalle durch den Zuſatz eines anderen zu beſtimmten Zwecken verwendbar und darauf beruht die mannichfaltige Verwendung und die große Wichtigkeit, welche die Legirungen für die Technik erlangt haben. Wie bedeutend die Eigenſchaften der Metalle oft durch nur einen geringen Zuſatz eines anderen Metalles in Bezug auf Härte, Sprödigkeit, Dehnbarkeit, Zähigkeit, Glanz, Farbe, Politurfähigkeit ꝛc. verändert werden, wollen wir hier nur an einigen Beiſpielen erläutern. Kupfer iſt für ſich ſehr dehnbar und leicht mit dem Hammer zu bearbeiten, aber es beſitzt keine große Härte. Dieſe wird ihm durch einen Zuſatz von Zink ertheilt, wobei die Dehnbarkeit nicht ganz verloren geht. Das Meſſing, wie bekanntlich dieſe Legirung genannt wird, läßt ſich aber wieder nicht feilen und dieſem Uebelſtande hilft man durch die Beimengung von 2 bis 3 Proc. Blei oder Zinn ab. Ein anderes intereſſantes Beiſpiel geben uns die Buchdruckerlettern. Man findet kein Metall, welches die Eigenſchaften in ſich vereinigt, die hier gefordert werden. Der Guß der Lettern fordert leichte Schmelzbarkeit, die Schärfe des Druckes ein genaues Ausfüllen der Formen; ferner muß das Metall hart ſein, damit die Lettern ſich beim Gebrauch nicht zu ſtark abnutzen, aber nicht ſpröde, damit jene unter der Preſſe nicht leicht zerbrechen. Alle dieſe Bedingungen erfüllt am Beſten eine Legirung von Antimon und Blei.

Die für die Technik wichtigen Legirungen findet man bei den betreffenden Metallen oder in ſelbſtſtändigen Artikeln abgehandelt. Hier wollen wir nur bemerken, daß man in Volley's Handbuch der techniſch-chemiſchen Unterſuchungen (Frauenfeld 1853) S. 238 eine nach Qualität und Quantität geordnete Zuſammenſtellung von 100 der bekannteren techniſch gebrauchten Legirungen findet; und eben ſo auf S. 190 eine Anweiſung zur Unterſuchung der Legirungen auf ihre Beſtandtheile. W. B.

Leidenfroſt'ſcher Verſuch, ſ. Dampf und Wärme.

Leidner Flaſche, ſ. Flaſche, elektriſche.

Leiter der Elektricität. Im Artikel Elektricität iſt die Thatſache hervorgehoben worden, daß es Körper giebt, welche die ihnen mitgetheilte oder ſonſt in ihnen hervorgerufene Elektricität durch ihre Maſſe oder vielmehr auf ihrer ganzen Oberfläche mit einer enormen Geſchwindigkeit verbreiten, während andere Körper den elektriſchen Zuſtand mit einer gewiſſen Schwierigkeit von außen her annehmen und denſelben eben ſo ſchwierig oder wohl auch gar nicht auf ihrer Oberfläche fortpflanzen. Man nennt jene Körper gute Leiter, dieſe ſchlechte Leiter der Elektricität, und wenn letztere das ſie charakteriſirende Merkmal in einem beſonders hohen Grade darbieten, auch Nichtleiter oder Iſolatoren. Der

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXIII. S. 77. u. Bd. LXXXIV. S. 275.

**) Ann. de Chim. et de Phys. [3] T. XII. p. 581. Pogg. Ann. Ergänzungsb. II. S. 73.

Unterschied zwischen Leitern und Nichtleitern der Elektricität ist jedoch nur ein relativer, indem selbst gute Leiter eine Elektricität von sehr schwacher Spannung zu isoliren und Nichtleiter stark gespannte Elektricität gewissermaßen zu leiten vermögen. Es giebt weder einen durchaus vollkommenen Leiter noch einen durchaus vollkommenen Isolator der Elektricität. So schnell auch die Fortpflanzung der Elektricität in guten Leitern geschieht, so ist sie doch nicht unendlich groß, sondern es findet eine durch die Natur der Körper bedingte Verzögerung derselben statt, welche auf den Begriff eines Leitungswiderstandes führt. Dieser Leitungswiderstand ist seiner Größe nach, je nach der materiellen Beschaffenheit der Körper ein anderer und hängt außerdem von der Länge und Dicke des als Leiter angewendeten Körpers ab; auch hat die Temperatur einen merklichen Einfluß auf die Größe des Leitungswiderstandes eines Körpers, in einer Weise, die weiter unten genauer angegeben werden soll. Das elektrische Leitungsvermögen der Körper steht nun jedenfalls im umgekehrten Verhältnisse mit dem Leitungswiderstande.

Um ungefähr zu prüfen, ob irgend ein Körper ein Isolator oder ein Leiter sei, braucht man ihn nur mit einem bereits elektrischen Körper zusammen zu bringen. Berührt man letzteren mit einem Leiter, so sucht sich auf diesem die Elektricität desselben überall zu verbreiten, und wenn nun die Oberfläche des Leiters im Verhältnisse zum elektrischen Körper sehr groß ist, so nimmt die elektrische Spannung im Verhältnisse zum ableitenden Umfang des Leiters ab, und dieselbe kann bei unverhältnißmäßiger Größe des letzteren bis zur Unmerklichkeit verschwinden. Dies findet statt, wenn man den elektrischen Körper durch einen anderen Leiter oder unmittelbar mit der Erde in Verbindung setzt. Auch der menschliche Körper ist ein Leiter der Elektricität, wie wir schon daraus sehen, daß, wenn wir auf dem Erdboden stehend, einen elektrischen Körper berühren, dieser seine Elektricität verliert. Wollen wir nun irgend einen Körper prüfen, ob er ein Leiter der Elektricität sei oder nicht, so dürfen wir denselben nur in die Hand nehmen und das andere Ende desselben dem Conductor einer Elektrisirmaschine bis zur Berührung nähern. Springt zwischen diesem letzteren und dem genäherten Körper ein starker, von einem Knalle begleiteter Funke über, und zeigt sich, wenn Berührung stattgefunden, der Conductor seiner Elektricität beraubt, so ist der in der Hand gehaltene Körper ein Leiter der Elektricität. Man kann auch zu dieser Prüfung sich eines mit Elektricität geladenen Elektrometers bedienen. Die Korkkügelchen oder Strohhalme oder Goldblättchen des Elektrometers divergiren, so lange das Elektrometer geladen ist. Berührt man nun die Platte oder den Knopf des Elektrometers mit einem Leiter der Elektricität, so fallen die Korkkügelchen ꝛc. alsbald zusammen, und geben nach Entfernung des genäherten Körpers nicht wieder aus einander. Bei Berührung mit einem Isolator wird dagegen die Divergenz der Elektrometerpendel entweder gar nicht oder doch in viel geringerem Grade aufgehoben. — Wenn man eine geladene Leidner Flasche (s. d. Art.) entladen will, so muß man die äußere Belegung derselben mit der innern durch einen oder mehrere mit einander verbundene leitende Körper in Verbindung setzen. Nimmt man in diesen Entladungskreis einen Nichtleiter auf, so findet entweder die Entladung gar nicht statt, oder wenn sie vor sich geht, wird jener Nichtleiter zerstört, zerschmettert oder durchbohrt, während vollkommen die Entladung bewirkende Leiter von nicht zu geringen Dimensionen dem äußeren Anscheine nach unverletzt bleiben. Auf gleiche Weise kann man auch einen Körper, um ihn hinsichtlich seiner Leitungs-

Digitized by Google

fähigkeit im Allgemeinen zu prüfen, in den Verbindungskreis zwiſchen den Polen einer Volta'ſchen Säule bringen. Iſt in dieſem Kreiſe zugleich eine Gasentbindungsröhre oder ein Multiplicator eingeſchaltet, ſo hört, wenn der eingebrachte Körper ein Iſolator iſt, alsbald die Wirkung des Stromes auf die Gasentbindung oder die Magnetnadel auf.

Unter den feſten Körpern haben ſich als die beſten Leiter der Elektricität im Allgemeinen die Metalle erwieſen, und man iſt daher bemüht geweſen, zunächſt die Metalle nach der Größe ihres Leitungswiderſtandes oder ihres Leitungsvermögens zu ordnen. Die erſten hierher gehörigen Verſuche wurden von Prieſtley, van Marum, Children, Harris und Davy theils mit Leidner Batterien, theils mit galvaniſchen Apparaten angeſtellt. Van Marum *) unterſuchte, wie viele Zoll gleich dicken Drahtes von verſchiedenen Metallen durch eine ſtets gleich große Ladung einer Leidner Batterie geſchmolzen werden konnten. Prieſtley **) und Children ***) ſtellten die Verſuche ſo an, daß ſie immer gleich lange und gleich dicke Drähte von verſchiedenem Metalle zuſammen hakten und durch dieſe Verbindung der erſte eine Leidner Batterie, der zweite einen galvaniſchen Apparat ihre Elektricität ergießen ließen. Hierbei wurde der ſchlechter leitende Draht geſchmolzen und zerſtreut, während der beſſer leitende dem Anſchein nach unverletzt blieb. Als Vergleichungsmittel liegt dieſen Verſuchen die Thatſache zu Grunde, daß Drähte, durch welche ſich eine Leidner oder galvaniſche Batterie entladet, um ſo ſtärker ſich erhitzen, je ſchlechter ihr Leitungsvermögen iſt.

Harris ****) ſuchte auf ähnliche aber genauere Weiſe die Leitfähigkeit der Metalle aus der Wärmemenge zu beſtimmen, welche beim Durchgange der gleichen Entladungen einer Batterie durch Metalldrähte von gleicher Länge und Dicke erzeugt wird. Die Metalldrähte wurden nach einander horizontal in einem Glasballon von 3 Zoll ausgeſpannt und an ihren Enden mit einer Leidner Batterie verbunden. Der mit Luft gefüllte Ballon ruhte mit ſeinem Halſe auf einem Behälter, welcher Weingeiſt enthielt und mit einem Haarröhrchen in Verbindung ſtand, deſſen längerer Arm ſenkrecht in die Höhe ging. So wie nun die Elektricität durch den eingeſpannten Draht geleitet wurde, theilte dieſer ſeine Wärme im Ballon der Luft mit, welche ſich demgemäß ausdehnte und den Weingeiſt in der Röhre emportrieb. Aus der verſchiedenen Höhe, bis zu welcher der Weingeiſt bei Anwendung der Drähte von verſchiedenen Metallen empor getrieben wurde, entnahm Harris Zahlenbeſtimmungen zur Vergleichung des Leitungsvermögens der Metalle.

Weitere Verſuche über die Leitfähigkeit verſchiedener Körper ſtellte Cavendiſh *****) an, der auch den Einfluß beſtimmte, welchen die Dimenſionen eines Leiters auf ſein Leitungsvermögen ausüben. Derſelbe hat jedoch die von ihm befolgte Methode nicht genauer angegeben.

Davy bediente ſich bei ſeinen Verſuchen über die Leitfähigkeit verſchiedener

*) Première Continuation etc. Haarlem 1787. p. 16. 166.
**) Geſchichte der Elektricität. S. 486.
***) Gilb. Ann. Bd. XXXVI. S. 364.
****) Phil. Transact. for 1827. p. 18. Pogg. Ann. Bd. XII. S. 2. 279.
*****) Phil. Transact. 1776. Vol. LXXVI.

Metalle galvanischer Tragapparate und bestimmte die Anzahl der Plattenpaare, welche von verschiedenen Metalldrähten bei gleicher Länge und gleichem Durchmesser vollständig entladen werden konnten. Von derselben Batterie gingen gleichzeitig feine Silberdrähte in eine Gasentbindungsröhre, wo dann das völlige Ausbleiben aller Gasblasen die vollständige Entladung anzeigte. Auch schloß er eine Säule aus einer gewissen Anzahl von Plattenpaaren gleichzeitig durch zwei verschiedene Bogen, von denen der eine einen Wasserzersetzungsapparat enthielt, während der andere aus dem Drahte bestand, dessen Leitungsvermögen untersucht werden sollte. Sobald die Schließung durch zwei Bögen geschieht, theilt sich der elektrische Strom nach dem Verhältnisse des Leitungsvermögens der Bögen zu einander in diese. Das Leitungsvermögen eines Bogens nimmt aber zu, je mehr derselbe verkürzt wird. Davy verkürzte nun den schließenden Drabt so lange, bis sein Leitungsvermögen das des Bogens, welcher den Wasserzersetzungsapparat enthielt, so überwog, daß die Wasserzersetzung merklich zu sein aufhörte. Ein je besserer Leiter der Elektricität ein Metall war, desto länger ergab sich der gesuchte Bogendraht von demselben. Alle Drähte hatten hierbei dieselbe Dicke.

Davy fand nun, daß die Leitung der Metalldrähte (unter sonst gleichen Umständen) im umgekehrten einfachen Verhältniß der Länge derselben steht, und bei gleicher Länge im geraden Verhältniß mit ihrer Masse.

Becquerel sen. *) wandte später eine genauere Methode an, die als eine Verbesserung der zweiten von Davy benutzten angesehen werden kann. Derselbe construirte einen Multiplicator aus zwei gleich beschaffenen Drähten, indem er zwei gleiche mit Seide übersponnene Kupferdrähte zusammen in gleichem Sinne um einen hölzernen Rahmen wand, und die vier Enden dieser Drähte in vier mit Quecksilber gefüllte Schälchen tauchte. Zu den letzteren führten noch vier andere Drähte von gleicher Beschaffenheit, von denen zwei mit dem einen Pol, die beiden anderen mit dem entgegengesetzten Pol einer Volta'schen Kette verbunden waren. Diese Verbindung war nun von der Art, daß der elektrische Strom, indem er sich auf die beiden Arme des Multiplicators vertheilte, dieselben in entgegengesetzter Richtung durchlief. In diesem Falle konnte keine Ablenkung der Magnetnadel im Multiplicator erfolgen, in sofern die Stromstärke in beiden Zweigdrähten von gleicher Größe war. Wurde aber in den einen Arm des Multiplicators ein Drabt von irgend einem anderen Metall eingeschaltet, so mußte, weil jetzt (vermöge der Veränderung des Leitungswiderstandes in diesem Arme) eine ungleiche Einwirkung beider Arme auf die Magnetnadel stattfand, eine Ablenkung der letztern erfolgen. Becquerel verkürzte oder verlängerte nun den anderen Arm so lange, bis die Wirkungen beider Arme auf die Nadel sich wieder das Gleichgewicht hielten. In dieser Weise ließ sich das Leitungsvermögen verschiedener Metalldrähte mit Rücksicht auf ihre Dimensionen ermitteln. Wenn z. B. der eine Arm nach Einschaltung eines Metalldrahtes von 1 Decimeter Länge dieselbe Stromstärke darbietet als in dem Falle, wo ein gleich dicker Kupferdrabt von 3 Decimeter Länge eingeschaltet ist, so erscheint die Leitfähigkeit des Kupferdrahtes dreimal größer als die des anderen Drahtes. Becquerel brachte bei seinen Versuchen alle Drähte auf die Temperatur des schmelzenden Eises.

*) Ann. de Chim. et de Phys. T. XXXII. p. 420. Pogg. Ann. Bd. VIII. S. 356.

Digitized by Google

Eine ähnliche Vorrichtung wie Becquerel gebrauchte auch Pouillet *) zu Versuchen über die Leitfähigkeit der Metalle. Durch die beiden Arme des Multiplicators wurden aber die Ströme zweier Thermoketten geleitet, von welchen die eine einen Meßdraht von Platin, und die andere den zu untersuchenden Draht eingeschaltet enthielt. Pouillet machte darauf aufmerksam, daß die Reinheit der Metalle von großer Bedeutung für ihr Leitungsvermögen sei. So ist nach ihm die Leitfähigkeit des reinen Goldes beinahe sechsmal größer als die des 18karätigen. In den folgenden Tabellen sieht man das Leitungsvermögen der Metalle nach den Versuchen von Becquerel und Pouillet zusammengestellt.

	Becquerel sen.		Pouillet
Kupfer	100,00	Quecksilber, destillirt	100
Gold	93,60	Eisen	600
Silber	73,60		700
Zink	28,50	Gußstahl	500
Platin	16,40		800
Eisen	15,80	Messing	900
Zinn	15,50		200
Blei	8,30	Platin	855
Quecksilber	3,45	Kupfer, ausgeglüht	3842
Kalium	1,33	" rein	3838
		Gold von 0,751 Feingehalt	714
		" " 0,951 "	1338
		Gold, rein	3975
		Silber von 0,747 Feingehalt	3882
		" " 0,857 "	4221
		" " 0,900 "	4753
		" " 0,963 "	5152
		Palladium	5791

Davy hat zuerst nachgewiesen, daß das Leitungsvermögen der Metalle abnimmt, wenn ihre Temperatur wächst. Doch steht die Abnahme des Leitungsvermögens nicht in gleichem Verhältnisse mit der Zunahme der Temperatur. Um dies nachzuweisen, bediente er sich der oben (S. 425) angegebenen Methode, durch welche er die Leitfähigkeit der Metalle zu bestimmen suchte. Er fand, daß ein 3 Zoll langer und $^1/_{220}$ Zoll dicker Platindraht, unter Oel kalt erhalten, die Elektricität zweier galvanischer Batterien vollständig zu entladen vermochte, während derselbe in der Luft, worin er durch die Entladung erhitzt wurde, nur eine Batterie entladen konnte. Dasselbe zeigt sich, wenn die Erhitzung durch eine andere Ursache bewirkt wird. Davy stellte noch folgenden Versuch an, um den schwächenden Einfluß der Temperaturerhöhung auf das Leitungsvermögen darzu-

*) Traité, Edit. III. T. I. p. 584.

thun. Hat man in einem Volta'ſchen Schließungskreiſe einen 4 bis 5 Zoll langen, ſo dünnen Platindraht angebracht, daß die Elektricität, welche durch ihn hindurchgeht, ihn in ſeiner ganzen Länge rothglühend macht, und bringt nun irgend einen Theil deſſelben durch die Flamme einer Spirituslampe, welche man darunter hält, zum Weißglühen, ſo erkaltet augenblicklich der Ueberreſt des Drahtes bis unter die Temperatur des ſichtbaren Glühens. Durch die weißglühende Stelle wird nämlich der elektriſche Strom ſo ſehr geſchwächt, daß er nicht mehr im Stande iſt, den Draht rothglühend zu erhalten. Hält man umgekehrt an irgend eine Stelle des rothglühenden Drahtes ein Stück Eis oder treibt auf ſie einen Strom kalter Luft, ſo werden augenblicklich alle anderen Theile des Drahtes viel heißer und kommen vom Rothglühen zum Weißglühen, weil die beſſere Leitung der erkälteten Stelle dem Strome einen geringeren Leitungswiderſtand entgegenſtellt als früher, der Strom alſo kräftiger wirken konnte.

Rieß *) beſtimmte den Leitungswiderſtand oder die Verzögerungskraft der Metalle auf Grund ſorgfältiger Verſuche über die Temperaturveränderung eines in den Entladungskreis einer Leidner Batterie eingeſchalteten Drahtes. Die Batterie wurde durch einen beliebig zuſammengeſetzten Metallbogen geſchloſſen, ein Theil deſſelben durch die Kugel eines Luftthermometers geführt, und die Erwärmung dieſes eingeſchloſſenen Theiles bei der Entladung gleicher elektriſcher Anhäufungen beobachtet, je nachdem ein entfernter Theil des ganzen Bogens aus dem einen oder dem anderen Metall beſtand. Der in der Kugel des Luftthermometers befindliche Theil des Schließungsbogens war ein 59‴,25 langer Platindraht. Außerdem enthielt der Schließungsbogen einen Henly'ſchen Auslader, in deſſen Kegelklemmen ein Draht von dem zu unterſuchenden Metalle in beliebiger Länge befeſtigt wurde. Bezüglich des Näheren verweiſen wir auf die Abhandlung ſelbſt. Rieß erhielt folgende Werthe für das Leitungsvermögen der Metalle bei gewöhnlicher Temperatur.

Silber . .	148,74	Eiſen . . .	17,66
Kupfer . .	100,00	Platin . . .	15,52
Gold . . .	88,87	Zinn . . .	14,70
Kadmium .	38,35	Nickel . . .	13,15
Meſſing .	27,70	Blei	10,32
Palladium	18,18	Neuſilber .	8,86

Numeriſche Unterſuchungen über die elektriſche Leitfähigkeit der Metalle bei verſchiedenen Temperaturen ſind von Lenz **) angeſtellt worden. Derſelbe benutzte hierzu den elektriſchen Strom, welcher in einem, den cylindriſchen Anker eines Magneten ſpiralförmig umwindenden, Drahte durch Abreißen deſſelben vom Magneten erregt wird. In zwei ſonſt ganz gleichen Spiralen aus verſchiedenem Metall, welche den magnetiſchen Anker umſchließen, verhalten ſich die elektriſchen

*) Pogg. Ann. Bd. XLV. S. 20.

**) Pogg. Ann. Bd. XXXIV. S. 418; Bd. XLIV. S. 345; Bd. XLV. S. 105. Mém. de l'Acad. des sciences de St. Pet. 3me. sc. math. et phys. T. II. p. 631.

Ströme, welche durch Abziehen oder Anlegen deſſelben an den Magneten hervorgerufen werden, direct wie die Leitungsfähigkeiten der Metalle für Elektricität (ſ. Art. Induction, elektriſche S. 22 ff.). Ein Ende der elektromotoriſchen Spirale ward unmittelbar mit dem Multiplicatordrahte verbunden, zwiſchen den anderen Enden der Spirale und des Multiplicators, an dem die Ablenkung der Magnetnadel beobachtet wurde, wurde der Draht eingeſchaltet, deſſen Leitungsfähigkeit für verſchiedene Temperaturen geprüft werden ſollte. Die Länge dieſes zu prüfenden Drahtes ward jedesmal genau gemeſſen, dann um einen Cylinder zu einer dichten Spirale gewunden, und, nachdem der Cylinder herausgezogen war, auf die Kugel eines Greiner'ſchen Thermometers Réaum. geſchoben, welches mit einer Scale bis zum Siedpunkte des Queckſilbers hinauf verſehen war. Die Scale war auf Papier getheilt und in eine Glasröhre eingeſchloſſen, wie dies bei den Thermometern von Greiner gewöhnlich der Fall iſt. Durch Vergleichung mit einem Normalthermometer wurde das Thermometer berichtigt, und auch die Correction, wegen ungleichförmiger Ausdehnung des Queckſilbers über den Siedpunkt des Waſſers hinaus, nach Dulong und Petit, berückſichtigt. Das Thermometer nebſt der darauf ſtehenden Drahtſpirale wurde hierauf in ein cylindriſches, kupfernes, mit Baumöl auf $^2/_3$ Höhe gefülltes Gefäß von 5″ Höhe und 4″ Durchmeſſer geſteckt, durch Oeffnungen, die zu dem Zwecke in dem Deckel des Gefäßes angebracht waren, ſo daß aus demſelben nur die Thermometerſcale und die beiden Enden des zur Cylinderſpirale gewundenen, zu prüfenden Drahtes hervorragten, welche letztere mit den übrigen Drähten, durch welche der elektriſche Kreislauf gehen ſollte, auf gehörige Weiſe verbunden wurden. Das Oel wurde mittelſt einer Spirituslampe erhitzt, bis zu der Temperatur, deren Einfluß man gerade beſtimmen wollte, und die Abweichung der Magnetnadel durch Abreißung des Ankers mit ſeiner elektromotoriſchen Spirale in dem Augenblicke hervorgebracht und beobachtet, in welchem das Thermometer bis auf den beſtimmten Punkt ſtieg. Hierauf ward die Lampe entfernt und dieſelbe Beobachtung bei derſelben Temperatur, aber beim Sinken des Thermometers durch allmäliges Erkalten der Oelmaſſe, angeſtellt. Endlich wurden beide Beobachtungen nochmals wiederholt, ſo daß bei jeder Temperatur vier Beobachtungen angeſtellt wurden, zwei bei ſteigender und zwei bei ſinkender Temperatur, wodurch Lenz die Fehler, welche aus einer ungleichen Erwärmung der Spirale und des Thermometers entſtehen würden, ſo viel wie möglich aufzuheben ſuchte. Zu gleicher Zeit wurden dieſe vier Beobachtungen ſo angeſtellt, daß zwei an dem einen und zwei an dem anderen Ende des Multiplicatorzeigers beobachtet, und bei zweien die Ablenkung nach rechts, bei zweien aber nach links hervorgebracht wurden (durch Umkehren des Magneten beim Anlegen an den Anker). Auf dieſe Weiſe wurden zugleich die Fehler der Excentricität der Nadel und einer etwaigen Drehung des zuſammengeſetzten Coconfadens, an welchem die Doppelnadel hing, beſeitigt.

Die Beobachtungsreihe für die Leitungsfähigkeit eines jeden Metalles bei verſchiedenen Temperaturen fing Lenz mit der Beſtimmung der Kraft des Stromes an, wie ſie ſich blos für den elektromotoriſchen und Multiplicator-Draht, ohne Zwiſchenbringung des zu prüfenden Drahtes, ergab, und beſchloß ſie mit einer ähnlichen Beobachtung, wobei er die Temperatur der Leitungsdrähte mit der des Zimmers gleich annahm.

Nach Einſchaltung des betreffenden Drahtes zwiſchen den Multiplicator- und

elektromotorischen Draht wurden die bei den verschiedenen Temperaturen erfolgenden Abweichungen der Multiplicatornadel beobachtet, und dann für jede Temperatur aus den einzelnen Beobachtungen das Mittel genommen.

Für die Berechnung der Leitungsfähigkeit der Drähte bei verschiedenen Temperaturen aus den beobachteten Ablenkungen der Multiplicatornadel, wandte Lenz folgendes Verfahren an. Er reducirte erst jeden Draht auf den Querschnitt des Multiplicatordrahtes nach dem Satze, daß sich die Leitungswiderstände der Drähte umgekehrt wie ihre Querschnitte verhalten. Nach dieser Reduction können die Leitungswiderstände durch die Länge der Drähte ausgedrückt werden, da sie denselben proportional sind, dividirt durch ihre Leitungsfähigkeit. Lenz nahm für jede Beobachtungsreihe die Leitungsfähigkeit des kupfernen Multiplicator- und elektromotorischen Drahtes als Einheit an, und nannte die Summe der reducirten Länge beider L. Dann drückt auch L ihren Leitungswiderstand aus. Die auf denselben Querschnitt des Multiplicatordrahtes reducirte Länge des zu prüfenden Drahtes heiße nun λ, sein Leitungsvermögen γ, ferner heiße die elektromotorische Kraft der Spirale um den Anker für den gegebenen Magneten A, die beobachtete Ablenkung ohne Zwischenbringung des zu prüfenden Drahtes a, dieselbe nach Dazwischenbringung dieses letzteren bei einer gewissen beobachteten Temperatur b. Die Stärke des Stromes *) für den ersten Fall ist $\frac{A}{L}$, für den zweiten Fall $\frac{A}{L + \frac{\lambda}{\gamma}}$, und hieraus ergeben sich, da die Stromstärke dem Sinus des halben Ablenkungsbogens proportional ist **), die beiden Gleichungen

$$\frac{A}{L} = p \cdot \sin(\tfrac{1}{2}a), \quad \frac{A}{L + \frac{\lambda}{\gamma}} = p \cdot \sin(\tfrac{1}{2}b),$$

wo p einen zu bestimmenden Coefficienten bedeutet, der aber, so wie das ebenfalls noch zu bestimmende A verschwindet, sobald wir die erste Gleichung durch die zweite dividiren. Wir bekommen alsdann die Gleichung $\frac{L + \frac{\lambda}{\gamma}}{L} = \frac{\sin(\frac{1}{2}a)}{\sin(\frac{1}{2}b)}$, und folglich

$$\gamma = \frac{\lambda \cdot \sin(\frac{1}{2}b)}{L\,[\sin(\frac{1}{2}a) - \sin(\frac{1}{2}b)]} = \frac{\lambda \cdot \sin(\frac{1}{2}b)}{2\,L \cos\frac{1}{4}(a+b) \cdot \sin\frac{1}{4}(a-b)},$$

wo der letzte Ausdruck für γ für die logarithmische Behandlung bequemer ist.

Nach dieser Formel hat nun Lenz für verschiedene Metalle den Werth von γ berechnet. Der letztere bezog sich aber für jede Versuchsreihe auf eine andere Einheit, nämlich auf die der Leitungsfähigkeit des elektromotorischen und galvano-

*) Ueber die näheren Beziehungen des Leitungswiderstandes zur Stromstärke vergleiche man den Art. Strom, elektrischer.

**) Vergl. Pogg. Ann. Bd. XXXIV. S. 386. 392.

Digitized by Google

metrischen Kupferdrahtes bei der Temperatur, die sie während der Reihe im Mittel hatten. Beim Zusammenfassen der Resultate für die verschiedenen Metalle wurde die Reduction auf eine und dieselbe Einheit vorgenommen.

Nachstehende Tabelle enthält die Resultate der Berechnungen von Lenz über die Leitungsfähigkeit der Metalle bei verschiedenen Temperaturen. Bemerkt sei hier noch, daß Lenz die Leitungsfähigkeit den Temperaturveränderungen nicht proportional fand.

	bei 0° R.	bei 100° R.	bei 200° R.
Silber	136,25	94,45	68,72
Kupfer	100,00	73,00	54,82
Gold	79,79	65,20	54,49
Messing	29,33	24,78	21,45
Eisen	17,74	10,87	7,00
Platin	14,16	10,93	9,02
Zinn	30,84	20,44	14,78
Blei	14,62	9,61	6,76
	bei 15° R.		
Antimon	8,87		
Queckſilber	4,66		
Wismuth	2,58		

Um die Abnahme der Leitungsfähigkeit der Drähte bei Zunahme der Temperatur durch Gleichungen auszudrücken, bediente sich Lenz der Formel: $\gamma_n = x + yn + zn^2$, wo γ_n die Leitungsfähigkeit der Drähte bei n° des Réaumur'schen Thermometers, x die Leitungsfähigkeit derselben bei 0° bedeutet, und wo y und z bestimmte Coefficienten sind. Aus den zur Bestimmung von x, y und z mehr als hinreichenden Werthen von γ_n und n müßten diese Werthe nach der Methode der kleinsten Quadrate abgeleitet werden. Zur Ersparung der weitläufigen Rechnung hat sich Lenz hier, wo die Beobachtungsfehler doch mehrere Minuten betragen, der erlaubten Abkürzungen bedient, daß er die erste Gleichung von der zweiten, die zweite von der dritten ꝛc. abzog, und daher eine Gleichung weniger als ursprünglich von der Form: $0 = m + ay + bz$ erhielt, aus denen er nun y und z ableitete, und durch Substitution dieser Werthe in die frühere Gleichung von obiger Form und dem Mittel aus allen auch z. Auf diese Weise hat er zuerst die Veränderungen der Leitungsfähigkeiten aller fünf Drähte in Formeln ausgedrückt, die sich auf die des Multiplicators und Leitungsdrahtes, als Einheit genommen, beziehen. Diese Einheit variirt aber bei den verschiedenen Drähten etwas, wegen der veränderlichen Temperatur des Zimmers, und es mußte, um die Formeln vergleichbar zu machen, eine kleine Correction angebracht werden. Hiernach wurden alle Formeln auf eine und dieselbe Einheit, nämlich auf die der Multiplicator- und Leitungsdrähte bei 14° R. zurückgeführt. Endlich änderte Lenz auch diese Einheit noch dahin ab, daß er die Leitungsfähigkeit des Kupfers bei $0° = 100$ setzte und darauf alle übrigen Drähte bezog. Die durchgeführte Rechnung gab folgende Resultate. Für

Silber $\gamma_n = 136{,}250 - 0{,}49838 \cdot n + 0{,}00080378 \cdot n^2$
Kupfer $\gamma_n = 100{,}000 - 0{,}31368 \cdot n + 0{,}00043679 \cdot n^2$
Meſſing $\gamma_n = 29{,}332 - 0{,}05168 \cdot n + 0{,}00006132 \cdot n^2$
Eiſen $\gamma_n = 17{,}741 - 0{,}08374 \cdot n + 0{,}00015020 \cdot n^2$
Platin $\gamma_n = 14{,}163 - 0{,}03890 \cdot n + 0{,}00006586 \cdot n^2$

Dieſe Formeln zeigen, daß die Abnahme der Leitungsfähigkeit der Metalle für die Elektricität bei Zunahme ihrer Temperatur bedeutend iſt, und im Ganzen bei beſſer leitenden ſtärker als bei ſchwächer leitenden; jedoch ſteht dieſe Abnahme nicht in einem beſtimmten Verhältniſſe zur Leitungsfähigkeit, denn ſonſt müßten die Coefficienten von n und n^2 für alle Metalle dieſelben werden, wenn man die Leitungsfähigkeit eines jeden Metalls bei $0^0 = 100$ ſetzt. Wir finden aber in dieſem Falle folgende Werthe für dieſe Coefficienten:

für Silber $- 0{,}36568 \cdot n + 0{,}000590 \cdot n^2$
„ Kupfer $- 0{,}31368 \cdot n + 0{,}000437 \cdot n^2$
„ Meſſing $- 0{,}17120 \cdot n + 0{,}000209 \cdot n^2$
„ Eiſen $- 0{,}47200 \cdot n + 0{,}000847 \cdot n^2$
„ Platin $- 0{,}27461 \cdot n + 0{,}000465 \cdot n^2$

Man ſieht hieraus, daß die Metalle, was das Verhältniß ihrer Leitfähigkeit überhaupt zur Veränderung derſelben vermittelſt der Temperatur betrifft, bedeutend unter einander variiren, und daß in dieſem Punkte Eiſen die übrigen Metalle übertrifft. Da dieſes Metall bei 0^0 und im Verhältniß von 17,7 : 14,1 beſſer leitet als das Platin, dagegen aber bedeutend ſchneller bei Wachsthum der Temperatur an Leitfähigkeit abnimmt, ſo muß es bei einer gewiſſen Temperatur eben ſo gut leitend werden als das Platin, bei höherer Temperatur aber ſchlechter.

Wenn die Erwärmung der metallenen Schließungsdrähte im umgekehrten Verhältniſſe mit ihrer Leitungsfähigkeit ſteht, ſo werden ſchlechter leitende Schließungsdrähte den Strom einer Volta'ſchen Säule aus zwei Gründen mehr ſchwächen als beſſer leitende, einmal wegen ihrer ſchlechteren Leitungsfähigkeit, und dann wegen der dadurch hervorgebrachten größeren Erwärmung der Drähte.

Den Formeln von Lenz kommt eigentlich nur bis zu einer Temperatur von 200^0 Giltigkeit zu. Wollte man ihnen über dieſe Temperatur hinaus Giltigkeit zugeſtehen, ſo würde ſich aus denſelben nach Lenz ergeben, daß alle Metalle ein Minimum der Leitungsfähigkeit haben, indem das dritte poſitive Glied der Formeln, welches n^2 enthält, zuletzt das zweite negative zu überwiegen anfängt, von wo an dann die Metalle anfangen mit erhöhter Temperatur beſſer zu leiten. Dieſes Minimum findet ſich durch Differenziren der Formeln in Hinſicht auf n und durch Gleichſetzung der Differenziale $= 0$. Auf dieſe Weiſe ergiebt ſich

für Silber das Min. bei 310^0 und iſt bei dieſer Temperatur $= 59$
„ Kupfer „ „ „ 359^0 „ „ „ „ „ $= 56$
„ Meſſing „ „ „ 421^0 „ „ „ „ „ $= 18$
„ Eiſen „ „ „ 279^0 „ „ „ „ „ $= 6$
„ Platin „ „ „ 295^0 „ „ „ „ „ $= 8$

Die Größen des Minimums der Leitungsfähigkeiten ſind immer auf die des Kupfers bei $0^0 = 100$ bezogen.

Lenz bemerkt, daß das Stattfinden eines Minimums der Leitfähigkeit bei einer Temperatur, die für die verſchiedenen Metalle zwiſchen 279^0 und 425^0

variirt, in Widerſpruch ſtehe mit dem oben (S. 426) erwähnten Davy'ſchen Verſuche, denn das Glühen der Drähte geſchehe gewiß bei einer höheren Temperatur als 421°, und doch mache eine Erhitzung des Drahtes vom Roth- zum Weißglühen denſelben nicht beſſer leitend. Um die Zuläſſigkeit ſeiner Formeln für höhere Temperaturen als 200° einigermaßen zu prüfen, ſtellte er noch einen Verſuch an. Eine Spirale von unbeſponnenem Kupferdrahte wurde zwiſchen die elektromotoriſche Spirale und den Multiplicator gebracht, horizontal über einer Spirituslampe ausgeſpannt und dann vermittelſt der letzteren zum Glühen erhitzt. Hierauf ließ er das Glühen bis zum Verlöſchen der Lampe allmälig abnehmen, und beobachtete während dieſer Zeit die Ablenkungen der Magnetnadel. Dieſer Verſuch ſchien nun für ein Minimum der Leitungsfähigkeit zu ſprechen, indem der Strom bei Abnahme des Glühens ſtatt ſtärker, ſchwächer wurde, und erſt als das Glühen eben wieder aufhörte, wieder zunahm. Hiernach wäre aber Davy's Verſuch nicht zu verſtehen. Doch wagt Lenz nicht, auf ſeinen eben erwähnten Verſuch hin zu entſcheiden, beſonders da bei dieſem ſeinem Verſuche die Temperatur des mehr oder weniger glühenden Drahtes nicht genau gemeſſen werden konnte.

Unterſuchungen über das Leitungsvermögen der Metalle bei verſchiedenen Temperaturen ſind ferner von E. Becquerel (jun.) *) angeſtellt worden. Das Verfahren, deſſen ſich derſelbe bediente, iſt der Hauptſache nach das von ſeinem Vater verbeſſerte Davy'ſche (S. 425), nach welchem man den Strom einer galvaniſchen Kette in zwei Arme zerſpaltet, dieſe in entgegengeſetzter Richtung auf ein Galvanometer (Multiplicator) wirken läßt, und zur Gleichheit bringt, erſtlich für ſich, und dann nachdem in den einen Arm der auf ſein Leitungsvermögen zu prüfende Körper eingeſchaltet worden iſt. Als Galvanometer gebrauchte er eins mit zwei zuſammengedrähten Drähten, und zur Aequilibrirung der Wirkung auf daſſelbe bediente er ſich desjenigen Wheatſton'ſchen Rheoſtats (ſ. d. Art.), bei welchem ein Meſſingdraht von einem Holzcylinder auf einen von Metall auf- und abgewickelt wird; es weicht von demſelben nur dadurch ab, daß die beiden Cylinder an ihren Enden mit gezahnten Rädern verſehen ſind, und durch ein in daſſelbe eingreifendes Getriebe bewegt werden. Dieſer Rheoſtat, welcher eine Längenmeſſung bis auf $0^{mm},2$ geſtattet, iſt in den einen Arm des Stromes eingeſchaltet, der auf ſein Leitungsvermögen zu prüfende Körper in den anderen.

Um das Leitungsvermögen eines Metalls bei gewöhnlicher Temperatur zu beſtimmen, ſpannte Becquerel einen Draht von demſelben zwiſchen zwei Zwingen aus, die, von ſenkrecht auf einen Tiſch errichteten Holzſtützen getragen, 1,5 Meter aus einander ſtehen. Unter dieſem Drahte und parallel mit ihm liegt ein wohlbefeſtigtes, getheiltes Meſſinglineal, längs welchem eine dritte, den Draht ſanft klemmende Zwinge verſchiebbar iſt. Mittelſt dieſer dritten Zwinge und einer der erſteren wird ein Theil des Drahtes in einen der Arme des Stromes gebracht, und ſeine Länge um gemeſſene Stücke verändert, deren Widerſtand ſich dann ergiebt, wenn man ihre Wirkung auf die Nadel durch den Rheoſtat annullirt.

Die zu unterſuchenden Drähte erfuhren keine ſtärkere Spannung, als nöthig

*) Ann. de Chim. et de Phys. Ser. III. T. XVII. p. 242—291. Pogg. Ann. Bd. LXX S. 243.

war, um ſie gerade zu richten und in Parallelismus mit dem Lineal zu bringen; bogen ſie ſich wegen ihres Gewichts oder ihrer Natur, ſo wurden Holzſtützen darunter geſtellt. Sie wurden überdies ſowohl im gehärteten Zuſtande, wie ſie aus dem Drahtzuge kommen, als auch im ausgeglühten angewandt. Queckſilber wurde in kalibrirte Glasröhren eingeſchloſſen. Die Durchmeſſer der Drähte wurden mit Hülfe eines von Lebaillif angegebenen Inſtruments unter dem Mikroſkop (ſ. d. Art.) gemeſſen, und da die Drähte niemals genau kreisrund ſind, die durch ein ſolches Loch gezogenen Drähte von verſchiedenem Material auch nicht gleichen Durchmeſſer haben (Eiſendrähte z. B. dicker ſind als Golddrähte, und dieſe wiederum dicker als Bleidrähte), ſo wurde immer aus mehreren Meſſungen das Mittel genommen. Nachſtehendes waren die Reſultate der Meſſungen, bei welchen die Temperatur beſtändig zwiſchen 12° und 13° C. lag, und im Mittel auf 12°,75 C. geſetzt werden kann.

	Durchmeſſer der Drähte	Leitungsvermögen bei gleichem Durchmeſſer im gehärteten Zuſtand	Leitungsvermögen bei gleichem Durchmeſſer im ausgeglühten Zuſtand	Verhältniß beider
	mm			
Silber (aus Chlorſilber reducirt) .	0,3203	93,448	100,000	1,0701
Kupfer, elektrochemiſch gefällt und dann geſchmolzen	0,3218	89,084	91,439	1,0264
Gold, reines . .	0,2970	64,385	65,458	1,0166
Kadmium . . .	0,2875	24,574		
Zink	0,3019 0,7390	24,164		
Zinn	0,6985	13,656		
Palladium . . .	0,225	13,977		
Eiſen.	0,3037 0,737	12,124	12,246	1,0101
Blei	0,687 0,858	8,245		
Platin	0,3126	8,042	8,147	1,0130
Queckſilber (bei 14° C.) . .	0,734	1,8017		

Bei den Metallen, die in Drähten von zweierlei Durchmeſſern angewendet wurden, ſind die Angaben der dritten Spalte das Mittel aus beiden Meſſungen, die übrigens wenig von einander abweichen.

Man ſieht aus vorſtehender Tafel, daß das Leitungsvermögen der gehärteten Drähte geringer als das der ausgeglühten iſt. Auch ſcheint nach Peltier das Leitvermögen der Kupfer- und Meſſingdrähte, welche häufig bei elektriſchen Lei-

tungen (Telegraphen) gebraucht werden, ſich zu vermindern, woraus ſich entnehmen läßt, daß der Molecularzuſtand der Drähte von Einfluß auf ihr Leitungsvermögen iſt.

Zur Ermittelung des Leitungsvermögens bei höheren Temperaturen wurde folgendes Verfahren eingeſchlagen. Eine an beiden Enden offene Glasröhre von 5 bis 6 Centimeter Länge und 1 Centim. Durchmeſſer wurde ſchraubenförmig mit dem zu unterſuchenden Drahte bewickelt, ſo daß ſich die Windungen nicht berührten. War derſelbe nicht länger als 1 Meter, ſo bildeten die Windungen nur eine Lage; überſtieg er aber dieſe Länge, ſo umgab man die erſte Lage mit Seide, wickelte eine zweite Lage darüber und befeſtigte ſie wohl durch Seidenfäden. Die Enden des ſo vorgerichteten Drahtes verknüpfte man durch Umwickelung mit zwei Kupferſtäbchen, von denen das eine in die Röhre hineinreichte, das andere an dem äußeren Umfange derſelben endete. Die beiden Kupferſtäbchen führten durch einen Kork, der zugleich ein Thermometer mit langem cylindriſchen, der Röhre parallel geſtellten Behälter durchließ. Dieſer Kork diente zum Verſchluß eines mit Oel gefüllten Glascylinders, welcher die mit Draht bewickelte Röhre und das Thermometer in ſenkrechter Stellung aufnahm. Der Glascylinder mit ſeinem Inhalt wurde dann in ein Marienbad getaucht, in welchem er bis nahe zum Siedepunkte des Waſſers erhitzt werden konnte.

Zunächſt ſuchte Becquerel zu ermitteln, wie ſich das Leitungsvermögen bei einem und demſelben Metall mit der Temperatur ändere. Zu dem Ende brachte er in den Glascylinder einen etwa 1 Meter langen Eiſendraht, erwärmte ihn darin, bis das Thermometer einen feſten Stand angenommen hatte, ſchaltete ihn darauf durch die Kupferſtäbchen in den einen Arm des Stroms einer Kette ein, und ließ nun den Cylinder langſam erkalten, während er zugleich durch den in dem anderen Arm des Stromes befindlichen Rheoſtat die Nadel beſtändig auf Null hielt. So bekam er folgende Zahlen:

Rheoſtatgrade	Temperaturen		Unterſchied	Rheoſtatgrade	Temperaturen		Unterſchied
	beobachtet	berechnet			beobachtet	berechnet	
398,0	97°,8 C.	97°,80 C.		207,6	59°,00 C.	55°,80 C.	— 3,20
360,0	89,50	89,40	— 0,10	204,4	58,00	55,00	— 3,00
341,0	86,50	85,20	— 1,30	189,5	54,50	51,64	— 2,86
339,0	86,00	84,75	— 1,25	170,0	50,00	47,40	— 2,60
335,3	85,00	83,87	— 1,13	113,0	36,60	34,75	— 1,85
293,0	78,50	74,58	— 3,92	62,7	24,00	23,63	— 0,37
273,5	74,00	70,30	— 3,70	58,5	23,00	22,70	— 0,30
253,6	70,00	65,90	— 4,10	39,7	18,10	17,51	— 0,44
230,6	65,00	60,80	— 4,20	23,7	15,00	15,00	

Von den Rheoſtatgraden entſprechen 108 einem ganzen Umgange der Cylinder. Die Zahlen der dritten und ſiebenten Spalte ſind in der Annahme berechnet, daß die mittlere Zunahme des Widerſtandes für einen Grad Temperatur

gleich sei $\frac{398,0 - 23,7}{97^0,8 - 15^0} = 4,5205$ Rheostatgrade. Die vierte und achte Spalte zeigen, daß die also berechneten Temperaturen beträchtlich von den beobachteten abweichen. Becquerel meint, daß die Unterschiede in der durch die Veränderung der Temperatur nicht richtigen Angabe des Thermometers ihren Grund haben, und nimmt an, nicht allein für das Eisen, sondern auch für die übrigen Metalle, daß die Abnahme des Leitvermögens der Zunahme der Temperatur proportional gehe. In dieser Voraussetzung bestimmt er nun die Veränderung des Leitvermögens so, wie es folgendes Beispiel an einem $0^{mm},3203$ dicken, ausgeglühten Silberdraht verdeutlichen mag. Ein Meter dieses Drahtes zeigte bei gewöhnlicher Temperatur ($12^0,75$ C.) in dem oben beschriebenen Apparat einen Widerstand = 101,25 Rheostatgraden, $1^m,1675$ oder, nach Abzug der um die Kupferstäbchen gewickelten Enden, $1^m,1475$ desselben Drahtes, die in den zuletzt beschriebenen Apparat gebracht wurden, mußten demnach bei derselben Temperatur einen Widerstand = 116,184 leisten. Eine Nacht hindurch in diesem Apparate gelassen, zeigte das Thermometer $11^0,3$, und der Rheostat mußte auf den Punkt 7,1 gedreht werden, um die Wirkung auf die Nadel zu annulliren. Nun wurde der Apparat zwei Stunden lang erhitzt, bis eine constante Temperatur erlangt war. Dieselbe betrug $96^0,8$, und der Rheostat mußte zur Aequilibrirung auf 45,1 gedreht werden. Die Zunahme des Widerstandes betrug also 45,1 — 7,1 = 38,0 für $96^0,8 - 11^0,3 = 85^0,5$ C., mithin für 1° C. = 0,4444. Bei $12^0,75$ C. war der Widerstand des Drahtes = 116,184, also wäre er bei 0° C. = 116,184 — 0,4444 × $12^0,75$ = 110,518, und das Verhältniß jener Zunahme zu diesem Widerstand oder $\frac{0,4444}{110,518} = 0,004021$. Die letztere Zahl nennt Becquerel Coefficient der Zunahme des Widerstandes, und bestimmt sie nun auf ähnliche Weise für andere Metalle, aus welchen Bestimmungen hier nur die Mittelwerthe folgen.

	Coefficient der Zunahme des Widerstandes für 1° von 0° aus		Coefficient der Zunahme des Widerstandes für 1° von 0° aus
Silber	0,004022	Zink	0,003675
Blei	0,004349	Kadmium . . .	0,004040
Gold	0,003397	Zinn, ziemlich rein .	0,006188
Eisen	0,004726	„ vielleicht bleihaltig	0,005042
Kupfer	0,004097	Quecksilber . . .	0,00104
Platin	0,001861		

Darnach berechnet nun Becquerel folgende Tafel:

	bei 0°	Leitungsvermögen bei 100° C., gegen das vom Silber bei 0°	bei 100° C., gegen das vom Silber bei 100°
Silber, ausgeglüht . .	100	71,316	100
Kupfer, ditto . .	91,517	64,919	91,030
Gold	64,960	48,489	67,992
Kadmium	24,579	17,506	24,547
Zink	24,063	17,596	24,673
Zinn	14,014	8,657	12,139
Eisen, ausgeglüht . .	12,350	8,387	11,760
Blei	8,277	5,761	8,078
Platin, ausgeglüht . .	7,933	6,688	9,378
Queckſilber	1,7387	1,5749	2,2083

Poggendorff*) bemerkt bezüglich dieſer Becquerel'ſchen Verſuche, daß dieſelben, ungeachtet der Vorzüge des von Becquerel gebrauchten Apparates (Differentialgalvanometers), wahrſcheinlich einen geringeren Grad von Genauigkeit beſitzen, als die früher von Rieß und Lenz aufgeführten.

Langsdorf**) macht in Bezug auf die relativ elektriſchen Leitungswiderſtände der Metalle auf den Mangel eines feſten, überall leicht zugänglichen Normalmaßes aufmerkſam. Hierzu ſcheint das Silber beſonders geeignet, da es in chemiſch reinem Zuſtande leicht darſtellbar, leicht ſchmelzbar iſt und überdies die Eigenſchaft beſitzt, ſich an der Luft, ſelbſt in der Glühhitze nicht zu oxydiren. Durch Glühen wird der Leitungswiderſtand des Silbers nach Becquerel vermindert, Langsdorf zeigt aber, daß ſich eine conſtante Verhältnißzahl nicht aufſtellen laſſe, weil fortgeſetztes Ziehen, eben ſo wie das Glühen, den Leitungswiderſtand des Silberdrahtes verändere. Eine Verſuchsreihe führte, wie es ſcheint, zu dem Reſultat, daß der ungeglüht öfters gezogene Draht ſich zuletzt einem conſtanten Minimum der Leitungsfähigkeit nähere, eine andere ließ aber dieſe Annahme nicht zu. Langsdorf erhielt Silberdrähte von ganz conſtantem Leitungsvermögen auf folgende Weiſe. Chemiſch reines Silber wird vor dem Ziehen geglüht. Hat der Draht eine ſolche Dicke erlangt, daß man ihn ohne Schaden zu einem Ringe zuſammenwickeln kann, ſo glüht man ihn öfter zwiſchen den Zügen und zwar um ſo öfter, je mehr das Ziehen ſich dem Ende nähert. Vor dem zweiten letzten Durchzuge 3 bis 4 Mal hinter einander, dann wird 2 Mal gezogen und nun wieder 3 bis 4 Mal recht gleichmäßig geglüht und durch möglichſt gleichzeitiges Eintauchen der ganzen Maſſe abgeſchreckt. Nach Beendigung der Operation kann man ſich von der normalen Beſchaffenheit des Drahtes dadurch leicht überzeugen, daß man ein Stück davon durch die folgende Oeffnung des Zieheiſens zieht; abnorme Beſchaffenheit verräth ſich ſogleich durch einen Bruch.

Als Einheit des galvaniſchen Widerſtandes läßt ſich der Widerſtand anſehen,

*) Ann. Bd. LXX. S. 230.
**) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXXV. S. 135.

den ein ausgeglühter Silberdraht (nach dieser Behandlungsweise) hervorbringt, von welchem 1^m 1 Grm. wiegt. Wird jedoch der Draht anders behandelt, so zeigt er auffallende Unregelmäßigkeiten. Zur Erlangung eines normalen Drahtes ist erforderlich, einer allzustarken Compression der Masse frühzeitig durch öfteres Glühen vorzubeugen, da man später durch bloßes Glühen den Zweck nicht erreicht.

Wir erwähnen hier beiläufig, daß Swanberg *) an dem von Wheatstone **) angegebenen Widerstandsmesser eine Modification anbrachte, um die Genauigkeit zu erreichen, deren die Anwendung dieses Instrumentes überhaupt fähig ist.

J. Müller ***) (aus Halle) hat auf Grund einiger von ihm angestellten Versuche über die Abhängigkeit des Leitungswiderstandes der Metalle von der Temperatur den Leitungswiderstand mit der Wärmecapacität der Metalle verglichen. Zu diesen Versuchen gebrauchte er ein von Hankel angegebenes Differentialgalvanometer, das noch im Verlaufe dieses Artikels beschrieben werden wird. Für einen Eisendraht erhielt er folgende Resultate, die er dem Leitungswiderstande gegenüberstellt, wie dieser nach Lenz's Formel aus der ersten Beobachtung bei $24^0{,}62$ berechnet ist. Die betreffenden Angaben sind das Mittel aus etwa sechs Beobachtungen.

Temperatur Celsius	Beobachteter Widerstand	Berechneter Widerstand	Differenz
24,62	3270,7	3270,7	0
34,94	3415,3	3395,62	+ 20,32
46,03	3579,1	3545,55	+ 33,55
53,00	3674,2	3643,75	+ 30,45
65,39	3865 0	3826,05	+ 38,95
79,05	4074,5	4038,80	+ 35,70
86,40	4211,7	4158,46	+ 53,24
93,93	4352,2	4284,90	+ 67,30
103,19	4513,0	4445,7	+ 67,30
114,77	4708,5	4655,13	+ 53,37
127,35	4943,5	4892,84	+ 50,66
135,60	5112,0	5065,87	+ 46,13
144,98	5292,3	5242,36	+ 49,94
158,05	5545,0	5514,80	+ 30,20

Diese Reihe, welche zeigt, daß die Versuche mit der Lenz'schen Formel übereinstimmen, zeigt zugleich für das Eisen ein etwas anderes Gesetz als bei Lenz, was Müller aus der Verschiedenheit der angewandten Eisensorten erklärt. — Nachstehend sind noch die Leitungswiderstände eines Zinkdrahtes und

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXIV. S. 411.
**) Phil. Transact. for 1843. Pogg. Ann. Bd. LXII.
***) Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 434.

eines Queckſilberfadens angegeben. Neben dem beobachteten Widerſtand ſtehen die für den Widerſtand unter der Vorausſetzung, daß derſelbe zwiſchen 23° und 150° mit der Temperatur proportional zunehme, aus der erſten und letzten Beobachtung berechneten Zahlen.

Temperatur des Zinkdrahtes	Beobachteter Widerſtand	Unter der angegebenen Vorausſetzung berechneter Widerſtand	Differenz
23,8 C.	511	511	0
36,0	534	533	— 1
46,9	551	553	+ 2
53,4	558	565	+ 7
63,6	575	583	+ 8
73,6	596	601	+ 5
83,8	613	619	+ 6
94,6	632	639	+ 7
104,3	650	657	+ 7
114,2	669	675	+ 6
126,8	693	698	+ 5
136,2	713	715	+ 2
143,9	731	728	— 3
150,9	741	741	0

Mittel aus etwa fünf Beobachtungen.

Nach den Differenzen zu urtheilen, iſt die Zunahme des Leitungswiderſtandes beim Zink in dieſen Grenzen dem Temperaturunterſchiede faſt genau proportional.

Eine kleine Abweichung von der Proportionalität iſt aber durch das Zunehmen der Differenz nach der Mitte zu beſtimmt angedeutet.

Mittel aus fünf Beobachtungen.

Temperatur des Queckſilbers	Beobachteter Widerſtand.	Unter der angegebenen Vorausſetzung berechneter Widerſtand	Differenz
18,6 C.	442	442,0	0
27,2	447	446,4	— 0,6
35,0	448	450,0	+ 2,0
45,7	452	455,6	+ 3,6
54,4	457	460,3	+ 3,3
67,5	460	467,0	+ 7,0
76,5	466	471,6	+ 5,6
86,9	469	476,9	+ 7,9
99,1	476	483,1	+ 7,1

Temperatur des Queckſilbers	Beobachteter Widerſtand	Unter der angegebenen Vorausſetzung berechneter Widerſtand	Differenz
108,3	481	487,9	+ 6,9
117,8	488	492,8	+ 4,8
128,0	493	498,1	+ 5,1
135,3	499	501,8	+ 2,8
142 2	505	505,3	+ 0,3
151,4	510	510,0	0

Aus dieſen Reihen läßt ſich der Leitungswiderſtand des Zinks und Queckſilbers für jede Temperatur zwiſchen 20° und 150° durch Interpolation berechnen.

Dulong und Petit haben bekanntlich bei mehreren Metallen die mittlere Wärmecapacität zwiſchen 0° und 100°, und dann zwiſchen 0° und 300° beobachtet. Unter der allerdings nicht ganz richtigen Annahme, daß ſich die Capacität zwiſchen 0° und 300° proportional mit der Temperatur ändere, beſtimmt Müller die Schnelligkeit, womit die Capacität bei ſteigender Temperatur wächſt. Die ſpecifiſchen Wärmen für zwei beſtimmte Temperaturen, nämlich für 50° und 150° C. ſind dann ungefähr bekannt. Dividirt man die Capacität bei 150° durch die bei 50°, ſo giebt der Quotient die Schnelligkeit an, mit der die Capacität gewachſen iſt. Dieſe Diviſion hat Müller ausgeführt und den entſprechenden Quotienten für den Leitungswiderſtand daneben geſtellt. Für das Eiſen, Platin, Kupfer ſind die Widerſtände aus den Lenz'ſchen Formeln, für Zink und Queckſilber aus ſeinen Verſuchen durch Interpolation berechnet.

	Capacität		Leitungswiderſtand		Quotienten	
	bei 50°	bei 150°	bei 50°	bei 150°	der Capacität	des Widerſtandes
Queckſilber .	0,0330	0,0350	455 / 1	509 / 1	1,060	1,119
Platin . . .	0,0335	0,0355	12.7144 / 1	10.4455 / 1	1,060	1,217
Kupfer . . .	0,0949	0,1013	87.8432	68.6487	1,067	1,279
Zink	0,0927	1,1015	554 / 1	740 / 1	1,094	1,333
Silber . . .	0,0557	0,0611	117.601 / 1	88.019 / 1	1,096	1,336
Eiſen. . . .	0,1098	0,1218	14.632	9.856	1,109	1,484

Aus dem Umſtande nun, daß die Quotienten des Widerſtandes in derſelben Ordnung ſtehen mit denen der Capacität, folgt nach Müller mit einer Wahr-

ſcheinlichkeit von 720 zu 1, daß die Schnelligkeit der Zunahme des Widerſtandes abhängt von der Schnelligkeit der Zunahme der Capacität. Wenn letzteres nämlich nicht der Fall wäre, ſo würden von den 720 Permutationen, in denen ſich jene ſechs Metalle ordnen laſſen, jede für die Reihenfolge der Quotienten des Widerſtandes gleich möglich ſein. Am meiſten ſprechen Silber und Zink für das angeführte Geſetz, da ſie faſt denſelben Quotienten der Capacität und auch faſt denſelben Quotienten des Leitungswiderſtandes haben. Die größte Abweichung zeigt Queckſilber, was nach Müller daher rühren ſoll, daß es als flüſſiges Metall die Wände des Gefäßes, in welches es bei den Beobachtungen der ſpecifiſchen Wärme nach der Abkühlungsmethode gethan wird, weit inniger als die feſten Metalle berührt.

Ein den Metallen gleichkommendes Leitungsvermögen hat die Holzkohle, die aber nach Prieſtley's *) Verſuchen in verſchiedenen Stücken beträchtliche Verſchiedenheiten zeigt. Steinkohle leitet ebenfalls gut, während Ruß von Prieſtley als ein unvollkommener Leiter befunden wurde. Auf den Aggregatzuſtand der Kohle kommt es hierbei an. Brugnatelli fand die trockenen und harten Kohlen, welche bei der Deſtillation vegetabiliſcher Theile z. B. der Benzoë, der Stärke, des Mehls ꝛc. zurückbleiben, nichtleitend, und die Kohlen aus harten Hölzern im Allgemeinen minder gut leitend als Kohlen aus weichem Holze, die aber ebenfalls durch Pulveriſiren zu Nichtleitern wurden. Der Diamant iſt ein Nichtleiter, der Graphit ein vortrefflicher, mineraliſche Holzkohle und Anthracit ſind gute Leiter. — Nach Davy **) wirkte ein Kohlenſtück von gut verkohltem dichten Buchsbaumholze, welches $^3/_{10}$ Zoll breit, $^1/_{10}$ Zoll dick und $1^2/_{10}$ Zoll lang war, zwiſchen großen Flächen Platin in den Schließungskreis einer Volta'ſchen Batterie gebracht, eben ſo gut leitend, als ein 6 Zoll langer Platindraht von $^1/_{220}$ Zoll Durchmeſſer.

Nach den Metallen wird die Elektricität am beſten durch die Erze geleitet. Ausgedehntere Unterſuchungen über das Leitungsvermögen der Mineralien ſind von Pelletier ***) angeſtellt worden. Derſelbe beſtimmte das relative Leitungsvermögen der hierher gehörigen Körper durch die Entladung einer Leidner Flaſche und nennt ſchlechte Leiter ſolche, mit welchen ſich die Leidner Flaſche nicht augenblicklich entladen läßt, ſondern die Entladung einige Augenblicke dauert, und welche die Schläge nur dann durch ſich hindurchlaſſen, wenn die Flaſche ſtark geladen iſt. Unter den Schwefel- und Arſenikverbindungen, wie auch von den Metalloxyden werden viele als ſehr gute Leiter aufgeführt, während andere ſehr mittelmäßig und manche gar nicht leiteten. Pelletier macht noch die Bemerkung, daß für die Erze keine ganz allgemein giltige Regel, die von der Oxydations- oder Schwefelungsſtufe der Metalle oder von den phyſiſchen Eigenſchaften der Erze hergenommen ſei, aufgeſtellt werden könne.

Aus Verſuchen, welche Munck af Roſenſchöld ****) über die Fähigkeit ſtarrer Körper, die Elektricität zu leiten, anſtellte, folgt, daß ein und derſelbe Körper, unter verſchiedener Aggregation ſeiner kleinſten Theile, ſich theils als

*) Geſchichte der Elektricität. S. 393.
**) Gilbert's Ann. Bd. LXXI. S. 255.
***) Gilbert's Ann. Bd. XLVI. S. 198.
****) Pogg. Ann. Bd. XXXIV. S. 437.

guter Leiter, theils als Nichtleiter der Elektricität verhalten kann. Rosenschöld brachte den Körper, dessen Leitfähigkeit untersucht werden sollte, mit der äußeren Belegung einer Flasche und, auf der anderen Seite, mit einem Stück Metall in Verbindung, dann legte er einen Finger auf das Metall und veränderte entweder die Intensität der Ladung oder die Länge des im Schlagkreise befindlichen Theiles des Körpers, bis der Schlag gerade im Finger gefühlt wurde. Verschiedene starre Körper untersuchte er auf ihre Leitfähigkeit in der Form von Pulver. Die Körper wurden in einem Mörser fein gerieben, nachher gut getrocknet, und in eine Glasröhre gelegt. Das eine Ende der letzteren war zuvor mit Bleifolie umwickelt und verschlossen, und durch das andere wurde ein Eisendraht in das Pulver eingeführt. Wenn alles so weit fertig war, brachte er den Eisendraht mit der äußeren Belegung der Flasche in Berührung, und legte unter die Bleifolie eine Kupferplatte, welche er mit der Spitze eines benetzten Fingers berührte, während mit den nassen Fingern der anderen Hand die Flasche entladen wurde. Um nun die Leitungsfähigkeit verschiedener Körper vergleichungsweise zu bestimmen, kann man entweder, bei gleicher Länge des im Schlagkreise befindlichen Theils des Pulvers, die Intensität der Ladung so lange verändern, bis man den Punkt getroffen hat, bei welchem der Schlag gerade gefühlt wird; oder man kann bei einer festgestellten Intensität der Ladung nur die Entfernung des eisernen Drahtes von der Bleifolie verändern. Im ersten Falle steht die Leitungsfähigkeit im umgekehrten Verhältniß der Intensitäten der Ladung und im letzteren im geraden Verhältniß der Längen, welche sich im Schlagkreise befinden. Ob aber dies so streng mathematisch richtig sei, daß man annehmen könne, die Leitungsfähigkeit werde gefunden, wenn man die Länge mit der Intensität dividire, wird von M. af Rosenschöld nicht behauptet. Das letztere Verfahren scheint ihm den Vorzug zu besitzen, und er hat sich dessen bei seinen Versuchen bedient. Nur wenn die Menge des Pulvers nicht hinreichte, verminderte er die Intensität der Ladung. M. af Rosenschöld fand, daß die Leitungsfähigkeit mehrerer Körper durch die Einwirkung elektrischer Schläge oft sehr verändert wird, und erklärt dies im Allgemeinen durch eine gewisse Verschiebung oder Veränderung in der Lage der kleinsten Theilchen, welche durch die Entladung bewirkt werde. Bei leitenden Pulvern, welche frei auf Glas oder Papier lagen, wurde die Leitungsfähigkeit durch die Einwirkung von elektrischen Schlägen erhöht. Beim Kienmayer'schen Amalgam, welches locker in ein Glasrohr gefüllt war, wurde die Leitungsfähigkeit durch schwächere Schläge erhöht und durch stärkere wieder vermindert. Auch die Leitfähigkeit des wohlausgeglühten Kohlenpulvers wurde durch elektrische Schläge verändert, obschon in viel geringerem Grade als bei den untersuchten Metallpulvern.

Bei weitem geringer als die Leitungsfähigkeit der Metalle ist die tropfbarer Flüssigkeiten, welche man auch, in sofern sie in der Spannungsreihe der Metalle keine bestimmte Stelle einnehmen, Leiter zweiter Klasse zu nennen pflegt. Cavendish schätzte das Leitungsvermögen des Wassers 400 Millionen Mal geringer als das der Metalle, und nach Versuchen von Volta*) nimmt ein elektrischer Strom, welcher durch einen Metalldraht von der Feinheit eines Härchens mit Leichtigkeit hindurchgeht, im Wasser einen millionenmal größeren Raum ein und geht selbst durch diesen nicht mit derselben Leichtigkeit hindurch.

*) Gilb. Ann. Bd. XIV. S. 263.

gitized by Google

Führt man nämlich den Entladungsſtrom einer Leidner Flaſche oder den Entladungsſtrom einer ſchwach geladenen Batterie oder einer Säule aus hundert Lagen Kupfer und Zink, deren Spannung ungefähr 1°,5 des Volta'ſchen Strohelektrometers beträgt, mittelſt zweier ziemlich breiter Metallſtreifen, die einander gegenüberſtehen, durch Waſſer, das ſich in einem großen Becken oder in einer hölzernen oder irdenen Kufe befindet, ſo breitet ſich der Entladungsſtrom im Waſſer rechter und linker Hand von dem geraden Wege aus, der unmittelbar von dem einen Streifen zum anderen führt, ſo daß, wenn man die eine Hand zur Seite deſſelben in einem Abſtande von einigen Zollen von dem geradlinigen Strome in das Waſſer taucht, man von dem Entladungsſchlage getroffen wird. Das ungemein geringe Leitungsvermögen des Waſſers im Vergleich mit dem der Metalle zeigen auch Verſuche von H. Davy *).

Die älteren Verſuche, welche angeſtellt worden ſind, um die Leitungsfähigkeit verſchiedener Flüſſigkeiten zu ermitteln, leiden an dem Uebelſtande, daß bei ihnen keine Rückſicht genommen wurde auf den Widerſtand der ſogenannten Polariſation (ſ. d. Art. und Galvanismus), welche in Folge der Elektrolyſe der Flüſſigkeiten an den Metallen hervortritt.

Marianini **) bildete eine einfache Kette aus Zink und Kupfer und der zu unterſuchenden Flüſſigkeit. Dieſe Kette wurde durch einen Multiplicator geſchloſſen, und nach der Ablenkung der Magnetnadel das relative Leitungsvermögen der Flüſſigkeiten beſtimmt. Marianini fand das Leitungsvermögen des Meerwaſſers 100 Mal größer als das des deſtillirten Waſſers. Nach demſelben läßt ſich das Leitvermögen des Alkohols gleich dem des Waſſers durch Zuſatz ſalziger Subſtanzen erhöhen, aber in weit geringerem Grade.

Förſtemann ***) brachte in den Schließungsbogen einer Säule, welche auf einen Zuſtand gleichförmiger Wirkſamkeit herabgekommen war, einen Waſſerzerſetzungsapparat und zugleich eine Röhre, welche nach einander mit verſchiedenen Flüſſigkeiten gefüllt wurde, und verglich nun die Zeiten, welche zur Entwickelung gleicher Gasquantitäten nöthig waren. Je größer der Leitungswiderſtand der Flüſſigkeit war, deſto längere Zeit verging, bis ſich die beſtimmte Quantität Gas entwickelt hatte. Die Flüſſigkeit befand ſich bei dieſen Verſuchen zwiſchen Platindrähten.

Ebenfalls zwiſchen Platin ſtellte de la Rive Verſuche über das Leitungsvermögen verſchiedener Flüſſigkeiten an. Derſelbe brachte nämlich verſchiedene Flüſſigkeiten in ein Gefäß und ließ in dieſelben Platinplatten tauchen, welche mit einer Säule verbunden waren, in deren Schließungsbogen ſich zugleich ein Multiplicator verband. Alle Umſtände waren übrigens bei den verſchiedenen Flüſſigkeiten dieſelben. Die Abweichungen der Magnetnadel des Multiplicators bei Anwendung der verſchiedenen Flüſſigkeiten dienten zur Beſtimmung ihres verhältnißmäßigen Leitungsvermögens. Die Reſultate, welche de la Rive fand, ſtimmen nicht ganz mit den von Förſtemann erhaltenen überein. Nach ihm iſt von allen Flüſſigkeiten die Salpeterſäure diejenige, welche zwiſchen Platin den geringſten

*) Gilb. Ann. Bd. LXXI. S. 253.
**) Schweigger's Journ. Bd. XIX. S. 50. 298. 301.
***) Kaſtner's Arch. Bd. IV. S. 82 ff.

Leitungswiderstand äußert; dann folgt die Salzsäure, und hiernach die Schwefelsäure. Reine und sehr verdünnte Salpetersäure bringt einen stärkeren Leitungswiderstand hervor als concentrirte; dagegen Schwefelsäure, selbst sehr verdünnte, einen geringeren Widerstand als concentrirte. Nach den genannten Säuren folgen Kalilauge und Ammoniakflüssigkeit, die sich fast nicht unterscheiden, und die Salzauflösungen, die einen noch geringeren Widerstand zu äußern scheinen als die Alkalilauflösungen, jedenfalls aber einen stärkeren, als die Säuren.

Pfaff*) hat gleichfalls Untersuchungen über die Reihenfolge der Flüssigkeiten hinsichtlich ihres Leitungsvermögens angestellt. Die Größe des letzteren wurde unmittelbar durch den Abweichungswinkel bestimmt, bei welchem die Magnetnadel nach einigen Schwankungen zur Ruhe kam.

Der Leitungswiderstand der Flüssigkeiten ist, wie man schon lange annahm, gleich dem der starren Leiter der Länge direct und dem Querschnitte umgekehrt proportional. Horsford hat dies in neuerer Zeit direct durch seine Versuche über den Leitungswiderstand flüssiger Körper bestätigt. Derselbe **) gebrauchte bei diesen Versuchen zur Aufnahme der Flüssigkeiten einen viereckigen Trog von festem und dichtem Holze, 0,3 Meter lang, 0,075 Meter breit und eben so tief; er war im Innern mit Schellackfirniß dick überzogen, um das Eindringen der Flüssigkeiten zu verhindern oder doch möglichst zu verzögern. Auf diesem Troge lagen zwei Bretstücke, von denen das eine festsitzt, das andere verschiebbar ist; sie dienen, die in die Flüssigkeit eintauchenden Platten zu halten und nach Befinden deren Abstand zu verändern. Die Platten, von gleicher Größe wie der Querschnitt des Kastens, wurden an Kupferstreifen festgeklemmt, welche ihrerseits wieder an den Bretstücken angeschraubt waren, und mit den Endstücken des Elektromotors in Verbindung standen. Als solcher wurde die constante Kohlenzinkkette benutzt, je nach Bedürfniß ein Paar oder auch mehrere Paare hinter einander. Die Stromstärke wurde mit einer sehr genau ausgeführten Weber'schen Tangentenboussole gemessen, und um bestimmte Stromstärken unverändert erhalten zu können, diente ein Wheatstone'scher Stromregulator (Rheostat). Der Draht des letzteren war aus Neusilber verfertigt, dessen Leitungswiderstand Buff auf das 12,1014fache von dem des chemisch reinen Silbers bestimmt hatte. Der Durchmesser dieses Drahtes betrug 1,5042 Millimeter, die Länge einer Windung des Regulators 751 Millimeter. Die Temperatur der geprüften Flüssigkeiten betrug durchschnittlich 18 bis 20° C.

Der Gang des Versuches fand in der Weise statt, daß man zwei Platten in dem mit Flüssigkeit ganz oder theilweise angefüllten Troge einander genau parallel, zuerst gewöhnlich auf 2,5 Centimeter Entfernung gegenüberstellte, dann die Kette schloß und mit Hülfe des Regulators die Nadel der Tangentenboussole auf einen bestimmten Grad richtete. Hierauf vergrößerte man den Abstand beider Platten durch Verrücken der einen, und sah zu, wie viel Neusilberdraht aus der Kette herausgenommen werden mußte, um den anfänglichen Ausschlag der Nadel wieder zu erhalten. Es ist einleuchtend, daß alsdann die Vergrößerung der Flüssigkeitsschicht einen genau eben so großen Widerstand bewirkte wie der abgewickelte Neu-

*) Schweigger's Journ. Bd. LV. S. 258.
**) Pogg. Ann. Bd. LXX. S. 238.

ſilberdraht, und zwar ganz unabhängig von dem Einfluſſe der Polariſation. Die nachſtehenden Zahlen ſind die Mittelwerthe von wenigſtens drei, gewöhnlich aber von einer größeren Anzahl nahe übereinſtimmender Beobachtungen.

Um einen etwaigen Einfluß der Stromſtärke auf den Leitungswiderſtand kennen zu lernen, wurde der Trog mit verdünnter Schwefelſäure von 1,10 ſpec. Gewicht bis zu 0,0275 Meter Höhe angefüllt. Man erhielt bei nachfolgenden

Ablenkungen der Nadel	den Widerſtand in Windungen Neuſilberdraht	
	für die erſten 2,5 Centim.	für die folgenden 2,5 Decim.
10°	32,44	20,67
20	20,30	21,25
30	10,74	20,00

Der Widerſtand der erſten 2,5 Cent. Flüſſigkeit, der den Einfluß der Polariſation einſchließt, zeigt ſich veränderlich mit der Stromſtärke, während, ſobald dieſer Einfluß eliminirt worden, ein für verſchiedene Stromſtärken augenſcheinlich gleich großer Widerſtand erhalten wurde. Aehnliche Verſuche mit anderen Flüſſigkeiten, wie Kochſalz, Kupfervitriollöſung ꝛc. ausgeführt, gaben ganz daſſelbe Reſultat. Daher erſchien es Horsford genügend, den Widerſtand der meiſten übrigen Flüſſigkeiten nur für eine einzige Stromſtärke mit möglichſter Genauigkeit zu unterſuchen; dieſe wurde dann, um der Veränderlichkeit der Polariſation zu begegnen, im Verlaufe einer Verſuchsreihe mit aller Sorgfalt eingehalten. Bei allen folgenden Angaben über die Dicke einer flüſſigen Schicht ſind die erſten 2,5 Centim., welche den Widerſtand der Polariſation einſchließen, bereits abgezogen.

Als Beleg für die Annahme, daß der Leitungswiderſtand der Flüſſigkeiten der Länge direct und dem Querſchnitte umgekehrt proportional ſei, wird folgende Verſuchsreihe mitgetheilt, welche mit derſelben verdünnten Schwefelſäure wie vorher ausgeführt iſt.

Länge der flüſſigen Schicht Centim.	Widerſtand in Windungen Neuſilberdraht.	
	beobachtet	berechnet auf 5 Cent. Länge
25	20,67	4,134
12,5	10,75	4,300
7,5	6,98	4,654
5,0	4,25	4,250
2,5	2,11	4,220
		Mittelwerth 4,311

Der Trog war mit der Säure bis zu 0,0275 Meter Höhe angefüllt. Als hierauf die flüſſige Schicht bis zu 0,048 Meter erhöht wurde, erhielt man für 5 Centim. Länge einen Widerſtand gleich dem von 2,56 Windungen. Es iſt aber 0,0275 : 0,048 nahe genau wie 2,56 : 4,311.

Man kann hiernach den Leitungswiderstand einer Flüssigkeit von bestimmter chemischer Beschaffenheit in Rechnung nehmen, wenn er nur für eine einzige Länge und einen einzigen Querschnitt genau gemessen worden ist. Die von Horsford bei verschiedenen Flüssigkeiten, die er untersuchte, gewonnenen Resultate sind von ihm in der folgenden Tabelle übersichtlich zusammengestellt. Gewöhnlich waren Platinplatten in die Flüssigkeiten eingetaucht. Nur bei der Kupferlösung wählte man Kupferplatten, und bei den Zinklösungen Zinkplatten, um dadurch die Polarisation zu vermindern. Die gewählten Auflösungen waren chemisch rein. Die Angaben über den Widerstand der Zinkvitriollösung sollen nur als Annäherungen gelten. Weil nämlich das aus der Flüssigkeit niedergeschlagene Zink sich an der negativen Polplatte theilweise in senkrecht anschießenden Nadeln absetzte, zeigte sich im Laufe eines jeden Versuches eine allmälige Abnahme des Widerstandes der vordersten Schicht.

Namen und Beschaffenheit der Flüssigkeit	Ausfüllungshöhe des Troges	Leitungswiderstand in Regulator-Windungen	Leitungswiderstand Neusilber = 1
	Meter	für 5 Centim. Länge der flüssigen Schicht	
Schwefelsäure von 1,10 spec. Gew.	0,0275	4,311	75673
" " 1,15 " "	0,0275	3,680	67770
" " 1,20 " "	0,0275	3,202	56180
" " 1,24 " "	0,0275	3,200	56180
" " 1,30 " "	0,0275	3,200	56180
" " 1,40 " "	0,0275	4,700	82520
Zinkvitriollösung, wovon 100 CC. enthielten:			
7,287 Grm. ZnO, SO_3 HO .	0,0275	108,00	1896000
4,175 " - - - .	0,0275	151,70	2663400
Kupfervitriollösung, wov. 100 CC. enthielten:			
15,093 Grm. CuO, SO_3 . .	0,0275	55,38	972320
7,547 " - - . .	0,0275	80,32	1410200
		für 2,5 Centim. Länge der flüssigen Schicht	
Kochsalzlösung			
27,6 Grm. in 500 CC. Wasser	0,023	19,65	577100
21,3 " " 500 CC. "	0,023	26,20	769460
Zweifache Verdünnung . .	0,046	25,336	1488200
Vierfache Verdünnung . .	0,046	44,72	2750560
Chlorkaliumlösung			
27,6 Grm. in 500 CC. Wasser	0,023	19,68	578000
Zweifache Verdünnung . .	0,046	18,79	1103700
Vierfache Verdünnung . .	0,046	34,16	2006500

Namen und Beschaffenheit der Flüssigkeit	Ausfüllungshöhe des Troges	Leitungswiderstand in Regulator-Windungen	Leitungswiderstand Neusilber = 1
	Meter	für 2,5 Centim. Länge der flüssigen Schicht	
Chlorbariumlösung 38,46 Grm. ClB in 500 CC. Wasser	0,023	37,50	1101300
Zweifache Verdünnung . .	0,046	37,07	
Chlorstrontiumlösung 29,30 Grm. ClSt in 500 CC. Wasser	0,023	26,56	780100
Zweifache Verdünnung . .	0,046	27,50	
Chlorcalciumlösung von 1,04 spec. Gewicht . .	0,023	22,90	672560
Chlormagnesiumlösung . . .	0,023	22,89	672560
Chlorzinklösung	0,023	37,20	1092500

Das Leitungsvermögen einer Flüssigkeit nimmt im Allgemeinen mit der Temperatur zu. Es ist auch eine bekannte Thatsache, daß die Wirkungen der geschlossenen Säule zunehmen, wenn man statt kalter warme Flüssigkeit anwendet. Schon die Temperatur der Luft zeigt sich hier unter Umständen von Einfluß. Bischof machte die Bemerkung, daß die wasserzersetzende Kraft einer mit Kochsalzlösung aufgebauten Säule mit der Temperatur der sie umgebenden Luft zu- und abnahm. Marianini fand, daß die Zunahme des Leitungsvermögens bei verschiedenen Flüssigkeiten durch Temperaturerhöhung um so geringer war, je bessere Leiter der Elektricität diese Flüssigkeiten an und für sich waren. Auch glaubte man gefunden zu haben, daß, wenn das Leitungsvermögen durch Erhöhung der Temperatur von einem gewissen Punkte an bis zu einem beliebig höheren zugenommen hatte, die Abnahme bei rückgängiger Abkühlung nicht so viel betrug als die Zunahme, und die Flüssigkeit erst nach ziemlich langer Zeit ihr ursprüngliches Leitungsvermögen wieder erhielt. Auf diesen Umstand fällt einiges Licht durch einen von Henrici *) angestellten Versuch über den Einfluß der Temperatur auf das Leitungsvermögen der Flüssigkeiten für galvanische Ströme. Henrici verschaffte sich einen elektrischen Strom von andauernder Constanz, so daß die Galvanometernadel ihren Stand während mehrerer Stunden nicht um $^1/_{10}$ Grad änderte. Sobald nun die Erwärmung der eingeschalteten Flüssigkeit (sehr verdünnte Schwefelsäure) merklich wurde, stellte sich eine sehr langsame Zunahme der Ablenkung ein, und als ein angebrachtes Thermometer von 17° auf 18° gestiegen war, war die Galvanometernadel von 38° auf 41° fortgerückt. Hierauf wurde der Apparat, ohne die Temperaturerhöhung fortzusetzen, sich selbst überlassen. Die Abkühlung bis zur ursprünglichen Temperatur geschah sehr allmälig; als diese

*) Pogg. Ann Bd. LXVI. S. 174.

eingetreten war, ſtand die Nadel auf 39°. Es hatte alſo die Leitfähigkeit der Flüſſigkeit durch die Erwärmung derſelben eine bleibende Erhöhung erlangt, was Henrici der durch die Erwärmung bewirkten Austreibung der in der Flüſſigkeit gelöſten atmoſphäriſchen Gaſe, welche ſich in ziemlich zahlreichen kleinen Bläschen entwickelten, zuſchreibt. Die ſpäteren Verſuche ergaben ſämmtlich eine Steigerung der Ablenkung um 2° mit völliger Rückkehr der Nadel auf den Ausgangspunkt.

Um das Leitvermögen der Flüſſigkeiten unabhängig von der Polariſation zu beſtimmen, benutzte E. Becquerel *) ein Verfahren, das er im Weſentlichen auch bei den Metallen angewendet hatte. Es wurde nämlich in jeden der beiden Arme eines geſpaltenen Stroms, die in entgegengeſetzten Richtungen auf die Nadel eines Differentialgalvanometers wirken konnten, eine Säule von einer und derſelben Flüſſigkeit eingeſchaltet und das Gleichgewicht hergeſtellt, erſt für ſich und dann, nachdem in den einen Arm ein Draht von bekanntem Widerſtand eingefügt worden war. Das Stück, um welches hierzu die in demſelben Arme befindliche Säule verkürzt werden mußte, lehrte nun den Widerſtand der Flüſſigkeit kennen.

Die Flüſſigkeiten befanden ſich in zwei Glascylindern, von denen jeden eine oben durch Kork ſenkrecht gehaltene, ganz offene und den Boden nicht berührende Glasröhre concentriſch einſchloß. In jeder dieſer Glasröhren war eine deren Querſchnitt genau ausfüllende, horizontale Metallplatte verſchiebbar, und zwar mittelſt eines daran gelötheten Drahtes, der, um vor der Flüſſigkeit geſchützt zu ſein, von einer engen Glasröhre umgeben war. Unterhalb der weiten Röhre befand ſich eine zweite horizontale Platte, deren ähnlich vorgerichteter Stiel in dem Raume zwiſchen der Röhre und dem Cylinder in die Höhe ging. Die beiden unteren Platten blieben unverrückt, von den oberen dagegen war die eine, durch ihren Stiel, mit einer aufrechten Metallſcale verbunden, welche mittelſt eines Getriebes eine Hebung oder Senkung derſelben, und ſomit eine Verlängerung oder Verkürzung der von dem einen Arme des Stromes durchlaufenen Flüſſigkeitsſäule erlaubte. Zwei Queckſilbernäpfe, wovon der eine mit der erwähnten Metallſcale, der andere mit der galvaniſchen Kette in Verbindung ſtand, nahmen den Meßdraht auf, und waren anfangs, wenn dieſer ausgeſchloſſen blieb, durch einen dicken Kupferbügel verbunden. Die Platten in der Röhre beſtanden bei Kupferlöſungen beide aus Kupfer; war dagegen die Flüſſigkeit von der Natur, daß eine Waſſerzerſetzung eintrat, ſo wurde die untere Platte zur negativen Elektrode gemacht und von einem leicht oxydirbaren Metall genommen, um den Sauerſtoff zu abſorbiren und ſomit deſſen Aufſteigen zu verhindern. Das Entweichen des Waſſerſtoffs an der oberen Platte wurde durch eine geringe Neigung derſelben begünſtigt. In einigen Fällen wandte Becquerel Platinplatten an, immer aber gebrauchte er nur einen ſchwachen Strom, damit die Zerſetzung der Flüſſigkeit unbeträchtlich bliebe. Der die Queckſilbernäpfe verbindende Draht war von Platin. Derſelbe wurde mit dem meſſingenen Rheoſtatdrahte verglichen, und dieſer wiederum mit einem ausgeglühten Silberdrahte,

*) Ann. de chim. et de phys. Ser. III. T. XVII. p. 242. Pogg. Ann. Bd. LXX. S. 230.

welcher nun, reducirt auf den Durchmeſſer der Flüſſigkeitsſäulen (der 21mm,54 betrug) als Maß des Leitungsvermögens der Flüſſigkeiten diente.

Auf dieſe Weiſe wurden folgende Reſultate gewonnen:

	Dichtigkeit	Temperatur	Leitvermögen
Silber, rein ausgeglüht	—	0°,00	100000000
Waſſer, geſättigt mit ſchwefelſaurem Kupfer	1,1707	9,25	5,42
Waſſer, geſättigt mit Chlornatrium bei 9°,5 C.	—	13,40	31,52
Waſſer, geſättigt mit ſalpeterſaurem Kupfer	1,6008	13,00	8,995
Waſſer, geſättigt mit ſchwefelſaurem Zink	1,4410	14,40	5,77
250 Grm. Waſſer und 30 Grm. Jodkalium	—	12,50	11,20
220 Cubikcentimeter Waſſer und 20 Cubikcentimeter Schwefelſäure mit 1 At. Waſſer	—	19,00	88,68
Käufliche Salpeterſäure von 36° B. . .	—	13,10	93,77
20 Grm. Antimonchlorür, 120 Cubikcentimeter Waſſer und 100 Cubikcentimeter Salzſäure	—	15,00	112,01

Einige dieſer Flüſſigkeiten wandte Becquerel in verſchiedenen Graden der Verdünnung an, und dabei kam er zu dem Geſetz, daß, wenn q die Gewichtsmenge des in einem beſtimmten Volumen gelöſten Salzes bezeichnet, das Leitvermögen C oder der Widerſtand R der Löſungen zum Ausdruck bekomme: $\frac{1}{C} = R = A + \frac{B}{q}$, worin A und B zwei von der Natur des Salzes abhängige Conſtanten ſind. Becquerel fand aber, daß es bei der Löſung des ſalpeterſauren Kupferoxydes nur von einem gewiſſen Grade der Verdünnung an gelte (und zwar mit negativem Zeichen von B), daß es mithin kein allgemein giltiges ſei. Zur Erläuterung dient Nachſtehendes.

	Salzgehalt in gleichem Volumen	Leitungsvermögen
Schwefelſaures Kupferoxyd		
Geſättigte Löſung	1	5,42
" " verdünnt zum 2fachen Volumen	1/2	3,47
" " " " 4fachen "	1/4	2,08
Chlornatrium		
Geſättigte Löſung	1	31,52
" " verdünnt zum 2fachen Volumen	1/2	23,08
" " " " 3fachen "	1/3	17,48
" " " " 4fachen "	1/4	13,58

	Salzgehalt in gleichem Volumen	Leitungsvermögen
Salpeterſaures Kupferoxyd		
Geſättigte Löſung (Dichte = 1,6008) . . .	1	8,995
" " verdünnt zum $^3/_2$fachen Volumen	$^2/_3$	16,208
" " " " 2fachen "	$^1/_2$	17,073
" " " " 4fachen "	$^1/_4$	13,442
Salpeterſaures Kupferoxyd		
Verdünnte Löſung (Dichte = 1,0850) . . .	1	8,979
" " verdünnt zum 2fachen Volumen	$^1/_2$	5,349
" " " " 4fachen "	$^1/_4$	2,942
" " " " 8fachen "	$^1/_8$	1,539

Zur Beſtimmung des Leitvermögens bei verſchiedenen Temperaturen gebrauchte Becquerel denſelben Apparat, in welchem die unterſuchten Flüſſigkeiten, deren nur drei an der Zahl waren, auf zweierlei Temperaturen erwärmt wurden. Der Coefficient in der letzten Spalte folgender Tabelle beruht auf einer dem Temperaturanwuchs proportionalen Zunahme des Leitungsvermögens.

	Temperatur	Leitvermögen	Zunahme deſſelben für 1° C.
Schwefelſ. Kupfer, concentrirte Löſung .	14°,4 C.	3,88	0,1286
dito " " .	56,0	8,5	
Schwefelſ. Zink, concent. Löſ. verdünnt mit 4fachem Volumen Waſſer . . .	20,0	3,5	0,0223
dito dito	54,4	6,18	
Käufliche Salpeterſäure von 36° B. . .	13,1	5,52	0,0263
	40,5	9,5	

Hankel *) brachte, um die Veränderung des Leitungswiderſtandes der Flüſſigkeiten durch Erhöhung der Temperatur zu ermitteln, die zu unterſuchende Flüſſigkeit in eine Uförmig gebogene graduirte Röhre, und verband zwei Punkte dieſer Flüſſigkeitsſäule durch Drähte, welche mit Metallplatten in die Flüſſigkeit tauchten, mit dem Multiplicator. Die Werthe einer Theilung der Röhre (der geraden Schenkel) waren in Beziehung auf Länge und Weite genau beſtimmt. Der Werth des gebogenen Theils wurde durch Verſuche ausgemittelt. Da die Verſuche mit Kupfer- und Zinklöſungen angeſtellt wurden, ſo waren die Platten, welche in die Flüſſigkeit tauchten, von Kupfer oder von Zink, und wurden öfter durch eine Feile blank geſchabt. Dieſe Platten waren ſo groß, als es der Durchmeſſer der Röhre erlaubte.

*) Pogg. Ann. Bd. LXIX. S. 255.

Zur Messung des Leitungswiderstandes wurde ein brauchbares Differentialgalvanometer construirt. Es ergab sich durch eine Reihe von Versuchen, daß der Grund, warum bei dem bisher construirten Differentialgalvanometer zwei gleiche Ströme, welche durch die beiden Drähte nach entgegengesetzten Richtungen geleitet werden, die Magnetnadel des Instruments nicht auf dem Nullpunkte stehen lassen, sondern rechts oder links, je nachdem die Nadel zufällig in Schwankungen geräth, ablenken und auf Weiten von 5° bis 10° festhalten, allein in der einseitigen Wirkung der Drähte, namentlich der vertikal vor der Nadel vorbeigehenden, auf einen Pol zu suchen ist. Es lassen sich die Drahtwindungen nicht so regelmäßig legen, daß dieser Einfluß verschwindet. Hankel wickelte den übersponnenen Kupferdraht auf einen großen Ring von 3 Fuß Durchmesser, der auf einem besonderen Tisch befestigt war, und hing in die Mitte desselben an einem Coconfaden einen kleinen Magnetstab von 3 Zoll Länge auf. In dem von ihm construirten Differentialgalvanometer waren zwei Drähte von 0,11789 Par. Zoll Durchmesser (jeder von 286 Fuß Länge und 28 Umwindungen) um den Ring gewickelt. Die Magnetnadel hing an einem Coconfaden, der von oben an der Innenseite des Ringes angebracht war, und wurde durch einen Glaskasten sorgfältig vor Luftströmungen geschützt. Dieser Glaskasten befand sich auf einem hölzernen Brete, welches etwas unterhalb des Mittelpunktes des Ringes befestigt war. Um die Empfindlichkeit des Instruments zu erhöhen, wurde die Richtkraft des kleinen Magnetstabes durch einen im Meridian befindlichen Stabmagnet beliebig geschwächt, und um jede kleine Aenderung an der Stellung des kleinen Magnetstabes wahrnehmen zu können, trug er einen kleinen Spiegel von Glas, in welchem nach bekannter Weise mittelst eines Fernrohres eine unter demselben befindliche Scale beobachtet wurde.

Ein elektrischer Strom von zwei bis drei Daniell'schen Elementen wurde nun, nachdem er durch einen ganz einfach construirten Commutator gegangen war, in zwei Theile gespalten, so daß der eine Zweigstrom den einen Draht des Galvanometers in der einen Richtung, der andere in der entgegengesetzten durchlaufen mußte. Da durch stärkeres Anspannen des einen Drahtes in demselben ein etwas größerer Widerstand entstanden war, so wurden an den anderen einige Fuß desselben Drahtes angefügt, bis die Magnetnadel bei dem Durchgange dieser beiden Ströme durch das Galvanometer ganz unbewegt blieb. In den einen Zweigstrom wurde nun die Flüssigkeitssäule, in den anderen dagegen Spiralen von dünnen Eisendrähten, deren Widerstand genau bekannt war, eingeschaltet, und die letzteren so lange abgeändert, bis sie einen der Flüssigkeitssäule gleichen Widerstand darboten, d. h. bis die Nadel auf Null stehen blieb, wenn die Kette geschlossen wurde. Um aber eine und dieselbe Füllung der Röhre zu allen Versuchen gebrauchen zu können, wurde der Strom nicht fortwährend hindurchgelassen, sondern nur auf Augenblicke, wenn die nöthigen Einschaltungen gemacht waren. Die Kette war deshalb für gewöhnlich geöffnet, und nur wenn durch die Niederdrückung eines Hebels mittelst des Fußes eine damit in Verbindung stehende kupferne Metallfeder in Quecksilber getaucht wurde, geschlossen. Durch diese nur sehr kurze Zeit dauernden Ströme wurde auch eine Erwärmung der Platten und Flüssigkeitssäulen verhindert. Um jede Polarisation der Platten zu zerstören, war der Commutator eingeschaltet, der deshalb nach jeder Schließung der Kette umgestellt wurde.

Die beiden geradlinigen Schenkel der Röhre waren von einem bestimmten Punkte über der Biegung an, eingetheilt. Die Länge einer cylindrischen Flüssig-

keitsſäule, welche bei gleicher Dicke wie die geraden Schenkel der Röhre eben ſo viel Widerſtand leiſtet, als der gebogene Theil der Uförmig gekrümmten Röhre ſammt dem Uebergangswiderſtande (in Folge der Polariſation), ſei mit x bezeichnet. Bei der Abkühlung bis 0° wurde die Röhre in ein Gefäß mit Eis geſtellt, bei den übrigen Temperaturen aber in ein Gefäß mit Waſſer, das mit heißem Sande oder heißem Waſſer nochmals umgeben war, um die Aenderungen der Temperatur während der Dauer eines Verſuches ſehr gering zu machen. Für die geringen Aenderungen wurden die nöthigen Correctionen angebracht, um die verſchiedenen Beobachtungen auf einerlei Temperatur beziehen zu können. Bei dieſen Abweichungen von meiſtens nur wenigen Zehntheilen eines Grades kann man die Aenderung der Leitungsfähigkeit ohne merklichen Fehler der Aenderung der Temperatur proportional ſetzen. Die Reduction geſchah übrigens, um dieſe Werthe noch zu verkleinern, auf die Temperatur einer mittleren Beobachtung. Um vor größeren Verſehen geſichert zu ſein, wurden nämlich ſtets mehrere Verſuche mit verſchiedenen Flüſſigkeitslängen angeſtellt. Die Berechnung der Verſuche iſt ſehr einfach. Die erſte Columme der nachſtehenden beiſpielsweiſe mitgetheilten Angaben bedeutet die Länge der Flüſſigkeitsſäule, und die zweite die einen gleichen Widerſtand darbietende Länge der Eiſendrähte (in Decimalfußen). Hankel zog ſtets die bei der Einſchaltung x (dem gekrümmten Theile der Röhre) gemachte Meſſung von den übrigen ab, um dadurch die Widerſtände zu erhalten, welche Flüſſigkeitsſäulen von der Länge 10, 20, 30 und 40 darbieten. Im Mittel iſt dann der Widerſtand y für eine Säule von der Länge eines Theilſtrichs angegeben.

Leitungswiderſtand einer concentrirten Kupfervitriollöſung A vom ſpecifiſchen Gewicht 1,17, bei der Temperatur:

x . y	= 197,39 ;	0° R.
(x + 10) y	= 310,58 ;	0
(x + 40) y	= 645,96 ;	0
Mittel für y bei 0°	= 11,26.	

x . y	= 130,35 ;	11°,8 R.
(x + 10) y	= 203,02 ;	11,8
(x + 20) y	= 276,37 ;	11,9
(x + 30) y	= 352,63 ;	11,9
(x + 40) y	= 424,71 ;	12,0
Mittel für y bei 11°,9	= 7,33.	

Hankel erhielt nun aus ſeinen Verſuchen folgende Reſultate:

	Temperatur R.	Leitungswiderſtand
Miſchung von 216,359 Th. der vorigen Löſung A mit 123,350 Th. Waſſer	0°	14,86
Dieſelbe Miſchung	12°	9,8
Miſchung von 108,693 Th. der Löſung A mit 185,118 Th. Waſſer	0°	22,87
Dieſelbe Miſchung	11°	15,16

	Temperatur R.	Leitungswiderstand
Dieselbe Mischung	25°	10,5
" "	67°,4	7,1
Ziemlich concentrirte Lösung von salpetersaurem Kupferoxyd von schwach saurer Reaction	0°	4,89
Dieselbe	11°,5	3,27
"	25°	2,18
"	67°,2	1,64
Concentrirte Lösung von Kupferchlorid, etwas Chlorür enthaltend; spec. Gewicht = 1,2	0°	4,47
Dieselbe	10°	2,86
Gesättigte Lösung B von käuflichem Zinkvitriol . .	0°	13,05
Dieselbe	9,8	8,62
"	27,4	4,55
"	67,4	2,29
Etwas weniger concentrirte Zinklösung vom spec. Gewicht 1,122	0°	10,33
Dieselbe	13,1	6,66
Mischung C aus 71,431 Th. der gesättigten Lösung B und 115,677 Th. Wasser	0°	13,00
Dieselbe	11,1	8,82
"	28,8	5,57
"	65,1	3,51
Mischung aus 43 Th. der Lösung C mit 68,027 Th. Wasser.	0°	25,0
Dieselbe	13,2	16,30
"	29,2	11,52
"	66,7	7,22

Da die Temperatur der Flüssigkeiten nicht bis zum Siedpunkte des Wassers erhöht werden konnte, so ließ sich die Temperatur bei ungefähr 66° nicht so constant erhalten, als es wünschenswerth war. Die hieraus entstandenen Abweichungen übersteigen jedoch nicht 2°,1, und da die Aenderung der Leitungsfähigkeit für 1° R. bei höheren Temperaturen viel geringer als bei niederen ist, so üben hier kleine Unrichtigkeiten in der Temperaturbestimmung einen weniger beträchtlichen Einfluß auf das Resultat.

Aus den Versuchen läßt sich erkennen, daß der Leitungswiderstand der Flüssigkeiten durch die Erhöhung der Temperatur sehr bedeutend vermindert wird, daß aber diese Verminderung der Temperaturveränderung nicht proportional geht, sondern daß dieselbe für einen bestimmten Temperaturunterschied um so größer ist, je näher die Temperatur dem Nullpunkte ist. Die verschiedenen Flüssigkeiten scheinen indessen in diesen Veränderungen einen ziemlich übereinstimmenden Gang darzubieten, und nur darin von einander abzuweichen, daß diejenigen Lösungen, welche eine größere Menge der Salze aufgelöst enthalten, auch eine größere Aenderung in ihrer Leitungsfähigkeit für dieselben Temperaturunterschiede erleiden. So ändert sich der

Leitungswiderstand des salpetersauren Kupferoxyds, und besonders der ganz gesättigten Lösung des schwefelsauren Zinkoxyds mehr als der Widerstand der Kupfervitriollösung und der weniger concentrirten Zinklösungen, und der Widerstand der letzteren wieder mehr als der Widerstand der sehr verdünnten Kupfervitriollösung.

Die Aenderungen, welche in dem Leitungswiderstande der Flüssigkeiten eintreten, sind viel größer als die durch dieselben Temperaturerhöhungen bei den Metallen bewirkten.

Hankel macht noch darauf aufmerksam, daß die größeren Veränderungen, welche sich in den concentrirteren Lösungen zeigen, wohl mit einer Erscheinung zusammenhängen dürften, die sich bei den Versuchen mit dem Zinkvitriol sehr deutlich ausspricht, wenn man z. B. die Leitungswiderstände der verschiedenen Lösungen mit einander vergleicht. Die gesättigte Lösung hat den Widerstand 13,00, eine weniger concentrirte 10,33, eine weiter verdünnte 13,00, und eine noch mehr verdünnte 25,00. Es nimmt also bei der Verdünnung der gesättigten Lösung mit Wasser der Leitungswiderstand erst ab, und dann wieder zu. Es muß die gesättigte Lösung mit mehr als der anderthalbfachen Gewichtsmenge Wasser vermischt werden, ehe der Leitungswiderstand wieder bis zu dem Widerstande der gesättigten Lösung erhöht wird. Die gesättigte Lösung zeigt sich sehr schwerflüssig, und namentlich bei niederen Temperaturen möchte sie Hankel fast dickflüssig nennen. Durch die Erwärmung verliert sich aber dieser Zustand zum Theil, und damit tritt zugleich eine so außerordentlich starke Verringerung des Widerstandes ein, wie sie keine andere der untersuchten Flüssigkeiten darbietet. Auch steht diese Erscheinung, daß eine concentrirte Zinklösung schlechter leitet als eine verdünnte, nicht isolirt. Die Schwefelsäure z. B. verhält sich ganz eben so, indem sie concentrirt schlechter leitet als mäßig verdünnt. Aber auch in diesem Falle ist die concentrirte Säure sehr dickflüssig.

Um diese Erscheinung zu erklären, geht Hankel von der oft gemachten Voraussetzung aus, daß es in den Flüssigkeiten nur eine Leitung gäbe, in sofern dieselben zersetzbar wären. Durch den schwerflüssigen Zustand ist nun die Beweglichkeit der Theilchen und hierdurch die Zersetzbarkeit derselben gehemmt, in demselben Maße aber auch die Leitungsfähigkeit vermindert. Deshalb erscheint es Hankel nicht unwahrscheinlich, daß der Einfluß der Wärme auf die Leitungsfähigkeit bei verschiedenen wässerigen Lösungen nahe derselbe ist, und nur noch Modificationen erleidet in Folge der Aenderung des Flüssigkeitsgrades, wodurch eine concentrirtere Lösung, da ihre Theilchen in der Wärme beweglicher werden, auch um so viel besser leitet.

Aus den mitgetheilten Tabellen läßt sich erkennen, daß das Leitungsvermögen der Flüssigkeiten im Vergleich zu dem der Metalle sehr unbeträchtlich ist. So ist beispielsweise die Leitungsfähigkeit einer Kochsalzlösung über dreißig Millionen Mal geringer als die Leitungsfähigkeit des Kupfers. Doch läßt sich das Leitungsvermögen einer Flüssigkeit durch Vergrößerung des Querschnitts, welcher bekanntlich mit dem Leitungswiderstande im umgekehrten Verhältniß steht, dem Leitvermögen eines Metalls gleich bringen.

Verschiedene starre Körper, welche die Elektricität nicht leiten, werden zu Leitern, wenn man sie in den tropfbar flüssigen Zustand überführt. So fand

H. Davy *), daß Salpeter, Aetzkali und Aetznatron im geſchmolzenen Zuſtande den elektriſchen Strom leiten.

Nach Faraday **) ſind folgende Körper im geſchmolzenen oder flüſſigen Zuſtande Leiter der Elektricität: Chlorblei, Chlorſilber, Chlornatrium, ſchwefelſaures Natron, verſchiedene andere Chlor- und Jodverbindungen, Fluorkalium, Cyankalium, Schwefelcyankalium, ſalpeterſaures Kali, Natron, Baryt, Strontian, Blei-, Kupfer- und Silberoxyd, ſchwefelſaures Blei, ſchwefelſaures Queckſilberoxydul, phosphorſaures Kali, Blei- und Kupferoxyd, glaſige Phosphorſäure, phosphorſaurer Kalk, Borax, borarſaures Bleioxyd, borarſaures Zinnoxyd, einfach und doppelt chromſaures Kali, chromſaures Bleioxyd, eſſigſaures Kali, Schwefelantimon, Schwefelkalium, kieſelſaures Kali.

Die Leitfähigkeit verſchiedener Körper, namentlich einer Reihe von Schwefelmetallen, die ſich bald als Leiter, bald als Iſolatoren darſtellten, iſt von Rieß und Karſten genauer unterſucht worden ***). Aluminium, das Rieß ****) zunächſt in Pulverform anwandte und ſich ſo nicht leitend verhielt, zeigte ſich bei Anwendung eines größeren Stückes als Leiter. Ueber das Leitungsvermögen des Schwefelſilbers und Halbſchwefelkupfers hat auch Hittorf *****) Unterſuchungen angeſtellt.

Als ein in gewiſſer Beziehung ausgezeichneter Leiter der Elektricität verhält ſich die Flamme. Schon Prieſtley †) fand, daß eine geladene Flaſche aus der Entfernung von einigen Zollen von der Flamme eines Wachslichtes oder auch des Weingeiſtes ohne Geräuſch vollſtändig entladen wird. Auch kann eine Leidner Flaſche, auf deren Knopfe eine Flamme angebracht iſt, in beträchtlicher Entfernung von dem Conductor einer Elektriſirmaſchine geladen werden. Bonnycaſtle hielt den geladenen Deckel eines Elektrophors 1 Minute lang $1\frac{1}{2}$ Zoll weit vor die Flamme einer Kerze und fand bei Prüfung des Deckels am Elektrometer denſelben völlig entladen. Der Deckel ward über verſchiedene Flammen, namentlich von Schwefel, Waſſerſtoff, über Platin, das durch einen Strom von Waſſerſtoffgas ins Weißglühen gebracht war, endlich über die Flamme von Alkohol gehalten. In allen Fällen, ausgenommen über der Flamme von Schwefel, ging die Elektricität gänzlich verloren. Die Flamme des Schwefels entzog zwar dem Deckel ſeine Elektricität, wenn ſie intenſiv genug war, um faſt weiß zu erſcheinen; beſchränkte ſich aber die Verbrennung nur auf eine kleine Stelle und war die Flamme ganz blau, ſo fand wenig Verluſt an Elektricität ſtatt. Indeſſen bedienten ſich Volta ††) und Bennet †††) der Flamme eines Schwefelfadens, um die atmoſphäriſche Elektricität ihren Elektrometern ſchneller zuzuführen und dadurch ſichtbar zu machen. Wir erinnern hier auch noch an die bekannte Thatſache, daß die Elektricität des Elektrophorkuchens ſelbſt gleichfalls durch eine Alkoholflamme vollſtändig abgeleitet werden kann.

---

*) Journ. of the Roy. Inst. 1802. p. 52.
**) Pogg. Ann. Bd. XXXI. S. 225.
***) Pogg. Ann. Bd. LXIV. S. 49; Bd. LXXI. S. 239.
****) Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 619.
*****) Pogg. Ann. Bd. LXXXIV. S. 1.
†) Geſchichte der Elektricität. S. 473.
††) Meteorologiſche Briefe. S. 112.
†††) Phil. Transact. Vol. LXXVII. p. 11.

Erman *) beobachtete einige beſondere Erſcheinungen, welche die Flamme in ihrem Verhalten gegen eine Volta'ſche Säule zeigt. Es ſei eine ſolche Säule durch eine hinreichend breite Harzfläche iſolirt, und mit jedem Pol der Säule ſei ein Elektroſkop verbunden. Berührt nun die Flamme einer ebenfalls iſolirten Weingeiſtlampe bald den einen, bald den anderen Poldraht, ſo zeigt das am entgegengeſetzten Pole angebrachte Elektroſkop keine merkliche Veränderung ſeiner Divergenz. Wird aber die einen Pol berührende Flamme mit dem Boden in leitende Verbindung geſetzt, ſo ſteigt die Divergenz des Elektroſkopes am entgegengeſetzten Pole bis zum Maximum, ganz eben ſo, wie wenn jener Pol leitend berührt worden wäre. Dies geſchieht, man mag den poſitiven oder negativen Pol mit der Flamme berühren. Es wirkt alſo die Flamme des Weingeiſtes wie ein guter Leiter, wenn ſie an jedem Pole einzeln angebracht wird. Bringt man nun aber beide Poldrähte der Säule zugleich in die iſolirte Flamme, ohne daß ſie ſich berühren, ſo zeigt ſich, daß die Kette hierdurch nicht geſchloſſen wird; das Elektrometer fährt fort zu divergiren. Berührt man während dieſer Anwendung der Flamme einen der zwei Pole ableitend, ſo erhält das Elektroſkop am anderen Pol das Maximum der Divergenz, ganz eben ſo wie wenn die Säule vollkommen iſolirt wäre und ihre Pole außer aller leitenden Verbindung ſtänden. Berührt man jedoch die Flamme ſelbſt ableitend, ſo zeigt das Elektroſkop am negativen Pol das Maximum der Divergenz, wie wenn einſeitig der poſitive Pol ableitend berührt worden wäre, das Elektroſkop am poſitiven Pol verliert jede Spur von Divergenz. Hier leitet alſo die Flamme den poſitiv elektriſchen Zuſtand vollkommen, während ſie für den negativen ein Iſolator iſt. Dieſes Verhalten der Flamme führte Erman zu dem Begriff der unipolaren Leiter. Wie die Weingeiſtflamme wirken noch andere Körper, und wie dieſe ſich gegen den poſitiven, ſo verhalten ſich andere gegen den negativ elektriſchen Zuſtand leitend. Deshalb unterſchied Erman poſitiv- und negativ-unipolare Leiter. Zu den erſteren ſollen gehören die Flammen aller waſſerſtoffreichen Körper, z. B. des Weingeiſtes, der fetten und ätheriſchen Oele, des Wachſes, des Kampfers, der Harze ꝛc., zu den letzteren die ganz trockne alkaliſche Seife, die Flamme des Phosphors, der ganz trockne Eiweißſtoff.

Weitere Verſuche über dieſen Gegenſtand wurden von Brugnatelli und Configliachi gemeinſchaftlich angeſtellt **). Ihre Reſultate ſtimmten mit den von Erman erhaltenen darin überein, daß bei Anwendung der Weingeiſtflamme und ableitender Berührung derſelben die rückſtändige Spannung des negativen Pols ſtets auf ihr Maximum gebracht wurde, während der poſitive Pol ohne alle Spannung zurückgeblieben war. Nicht ſo conſtant und in geringerem Grade zeigte ſich dagegen die trockne Seife in ihren Verſuchen negativ polar. Viele Körper aus allen drei Naturreichen zeigten in geringerem Maße die Erſcheinung der Unipolarität, in ſofern nämlich als durch ſie die rückſtändige Spannung an dem einen Pol erhöht, an dem anderen vermindert wurde. Sogar Metalle zeigten mitunter dieſe Erſcheinung, wenn ſie an der Berührungsſtelle beſchmutzt oder oxydirt waren. Brugnatelli und Configliachi erklären dieſe Erſcheinungen zum Theil aus

*) Gilb. Ann. Bd. XI. S. 149.
**) Gehler's Journ. der Phyſ., Chem. u. Min. Bd. VIII. S. 319.

einem Unterſchiede der Leitungsfähigkeit auf beiden Seiten ſolcher Körper. Dieſer Unterſchied könne durch mannichfaltige ſehr veränderliche Umſtände herbeigeführt werden, namentlich durch den verſchiedenen Grad der Befeuchtung, durch die verſchiedene Ausdehnung, durch die verſchiedene Innigkeit und Ausdehnung der Berührung mit dem Poldrahte ſelbſt. Sie fanden nämlich auch, daß ein und derſelbe unvollkommene Leiter, der in der einen Lage ſich als poſitiv unipolarer Leiter verhielt, bei der Umkehrung vorzugsweiſe den negativen Pol ableitete und ſich als ein negativ unipolarer Leiter darſtellte. Bei ſolchen Subſtanzen hingegen, welche bezüglich ihrer Unipolarität ſtets daſſelbe Verhalten zeigen, die alſo immer den einen Pol vorzugsweiſe oder ausſchließend ableiten, an welcher Stelle in ihrer Ausdehnung man auch die Ableitung anbringen mag, ſoll nach denſelben Phyſikern der Grund der Erſcheinung hauptſächlich in dem elektromotoriſchen Verhalten dieſer Subſtanzen gegen andere Körper liegen. Wenn z. B. die Seife in Berührung mit den Leitern, welche die Verbindung mit dem Erdboden herſtellen, poſitiv elektriſch wird, ſo kann ſie dieſen Zuſtand dem negativen Pol mittheilen und deſſen Elektricität neutraliſiren. Umgekehrt ſoll es ſich z. B. mit der reinen Waſſerſtoffgasflamme verhalten, indem dieſe mit dem Metalldrahte, der ſie mit der Erde leitend verbindet, negativ elektriſch werde, und dann durch Mittheilung den elektriſchen Zuſtand des poſitiven Pols aufhebe. — Prechtl*) ſuchte gleichfalls die Erſcheinungen der ſogenannten Unipolarität vorzugsweiſe aus einer ungleichen Leitung auf beiden Seiten der betreffenden Körper herzuleiten.

Nach Unterſuchungen von Ohm liegt die Urſache der unipolaren Leitung nicht urſprünglich in den Körpern ſelbſt, ſondern wird erſt durch den elektriſchen Strom in den betreffenden Körpern veranlaßt. Ohm fand, daß die Ausbildung der unipolaren Eigenſchaft der Seife in einer zwar ſehr kurzen, aber dennoch wahrnehmbaren Zeit geſchehe. Der Grund der Unipolarität müſſe alſo eine bei der Einbringung in die Kette geſchehende Aenderung in der Seife ſein. Auch hat Ohm nachzuweiſen geſucht, daß in der Seife unter dem Einfluß der Kette eine Zerſetzung vor ſich gehe. Hiernach ſcheint alſo die negative Unipolarität der Seife erſt dadurch zu entſtehen, daß vermöge chemiſcher Wirkung der Kette auf die Seife, welche zur Schließung dient, ſich ein ſchlecht leitender Ueberzug an der Berührungsfläche des poſitiven Poldrahtes mit der Seife bildet. Aehnliche Urſachen ſcheinen auch der Unipolarität anderer Körper und der Flammen zu Grunde zu liegen.

Was die elektriſchen Eigenſchaften der Flammen noch insbeſondere betrifft, ſo hat Hankel durch Verſuche an den Flammen des Alkohols und Aethers nachgewieſen, daß verſchiedene Theile der Flamme ein elektromotoriſches Verhältniß (eine elektriſche Differenz oder einen elektriſchen Gegenſatz) darbieten, vermöge deſſen die Flamme auf geeignete Weiſe in einen leitenden Kreis eingeſchloſſen, einen elektriſchen Strom veranlaßt, auf deſſen Stärke ſowohl die Größe der Flamme als auch die Lebhaftigkeit der Verbrennung Einfluß hat. Zur Wahrnehmung dieſes Stromes bediente man ſich eines Multiplicators mit möglichſt langem Drahte und möglichſt vielen Windungen. Ein bedeutender elektriſcher Gegenſatz findet in der Flamme in der Richtung von unten nach oben ſtatt. Man kann denſelben nach

*) Gilb. Ann. Bd. XXXV. S. 28.

Hankel leicht nachweisen, wenn man eine Spirituslampe mit doppeltem Luftzuge mit der Erde und einer Platte eines guten Condensators verbindet, während ein in der Flamme derselben isolirt aufgestelltes Platinblech (oder Platindraht) mit der anderen Condensatorplatte verbunden ist. Jene, die obere Condensatorplatte erhält sogleich positive Elektricität. Wenn man umgekehrt die Lampe isolirt und mit der oberen Condensatorplatte verbindet, und das in der Flamme aufgestellte Metallblech mit der Erde und der unteren Condensatorplatte in leitende Verbindung bringt, so erhält die obere Condensatorplatte durch die Lampe positive Elektricität. Bezüglich der weiter getroffenen Einrichtungen dieser Versuche müssen wir hier auf die Abhandlung selbst verweisen.

Wir haben gleich im Anfange unserer Betrachtungen über die elektrischen Eigenschaften der Flamme hervorgehoben, daß sie in gewisser Beziehung ein ausgezeichneter Leiter sei, in sofern nämlich, als sie die Fähigkeit besitzt, die Elektricität eines anderen Körpers schon aus beträchtlicher Entfernung abzuleiten. In dieser Beziehung wurde das Leitungsvermögen der Flamme Gegenstand eines Streites *) zwischen Rieß und van Rees. Der Erstere macht darauf aufmerksam, daß über der elektrisch wirkenden Flamme eine Dampfsäule stehe, welche die Elektricität gut leite, in einer nach der Lebhaftigkeit der Verbrennung veränderlichen, aber jedenfalls gegen die Länge der Flamme bedeutenden Höhe noch mit der Flamme zusammenhänge, und sich in der Luft verliere, welche die Elektricität schlecht leite. Indem nun die umgebende kältere Luft in die aufsteigende Dampfmasse allenthalben einschneidet, wird die letztere ausgezackt, so daß dieselbe eine Menge nach allen Seiten in die Luft hineinragender Spitzen erhält, die dann in derselben Weise wie Metallspitzen auf einen elektrisirten Körper wirken. Die bekannten elektrischen Wirkungen der Flamme erklärt Rieß im Allgemeinen durch eine Influenzerscheinung, indem er annimmt, daß der neutrale Körper, sei er die Flamme oder der entfernte Leiter, durch Influenz (Vertheilung) und Ausströmung der Elektricität bleibend geladen wird. Die bedeutende Steigerung des Processes der elektrischen Vertheilung durch Anbringung der Flamme auf den influencirten Körper wird den Spitzen der Dampfsäule und dem dadurch bewirkten Ausströmen der einen Influenzelektricität oder, was dasselbe, der Mittheilung des einen durch die Influenz hervorgebrachten, elektrischen Zustandes an die Luft zugeschrieben. Befindet sich auf einem elektrisirten Körper eine Spitze oder eine Flamme, so wird ein entfernter Leiter durch Influenz elektrisirt, so daß seine der Flamme nächsten Punkte negative Elektricität erhalten, wenn jener Körper positiv elektrisch ist. Bei einer gewissen Entfernung der Flamme von dem anfänglich neutralen Leiter werden nun die erwähnten nächsten Punkte so stark elektrisch, daß die an ihnen angehäufte negative Elektricität den Leiter verläßt, während der positiv elektrische Zustand zurückbleibt. Während dies geschieht, theilt sich aber auch die Elektricität des vertheilend wirkenden Körpers vermittelst der Flamme der nahe liegenden Luft mit. In Folge dieses Processes gewinnt es den Anschein, als ob die der Spitze oder Flamme mitgetheilte Elektricität auf den genäherten Leiter wirklich übergegangen sei. Van Rees stützte dagegen seine Erklärung der elektrischen Flammenwirkung auf

*) Pogg. Ann. Bd. LXI. S. 545; Bd. LXXI. S. 568; Bd. LXXIII. S. 41. 307; Bd. LXXIV. S. 379. 580.

Digitized by Google

die Beweglichkeit der Flammentheilchen, und nahm ſpäter noch die Beweglichkeit der Theilchen der über der Flamme befindlichen leitenden Gasſäule hinzu. Außerdem beruht ſeine Erklärung auf der von Faraday ſogenannten fortführenden Entladung, welche durch die ſich fortwährend von der Flamme ablöſenden Gastheilchen begünſtigt werden ſoll. Wenn ein elektriſirter Körper durch eine nicht iſolirte Spitze oder Flamme entladen wird, ſo wird die Spitze oder Flamme zunächſt durch die Influenz des Körpers entgegengeſetzt elektriſch und bei hinreichender Näherung erreicht ihre elektriſche Dichtigkeit bald den Grad, wobei die ſie berührenden Lufttheilchen eine Ladung empfangen. Dieſe von der Spitze abgeſtoßenen, vom Körper angezogenen Lufttheilchen gehen auf letzteren über und neutraliſiren die daſelbſt angehäufte Elektricität. Uebrigens wird dieſe Art von elektriſcher Mittheilung von Rieß in beſonderen Fällen nicht geradezu in Abrede geſtellt, eben ſo wenig, daß die Beweglichkeit der Gasſäule zur betrachteten Erſcheinung mitwirke, wohl aber, daß dieſelbe zur Hervorbringung der Erſcheinung weſentlich nothwendig ſei. Rieß benutzt neben der elektriſchen Mittheilung vorzugsweiſe die Influenz zur Erklärung der Flammenwirkung Durch Anwendung des Princips der Influenz erklären ſich die betreffenden Erſcheinungen, ohne daß es dabei nöthig iſt, auf die ſogenannte fortführende Entladung ein beſonderes Gewicht zu legen.

Zu den beſſeren Leitern der Elektricität rechnet man noch die verſchiedenen Theile des thieriſchen Körpers, ſo lange ſie friſch ſind, namentlich alle animaliſche Flüſſigkeiten. Auch die friſchen ſaftigen Pflanzentheile leiten die Elektricität, obſchon weniger gut als thieriſche Theile. Die wäſſerigen Pflanzenſäfte leiten ebenfalls, und zwar beſſer als Waſſer. Die Säfte einiger Pflanzen leiten die Elektricität beſſer als die anderer, wie dies ſchon aus der Erfahrung folgen ſoll, daß der Blitz lieber z. B. in Eichen als in Tannen und Buchen einſchlägt. — Pouillet ſetzt den Widerſtand des menſchlichen Körpers, wenn beide Hände befeuchtet, in Queckſilber getaucht werden, gleich dem eines Kupferdrahtes von 1 Millim. Dicke und 50000 Meter Länge.

Zu den Nichtleitern oder Iſolatoren der Elektricität gehören alle diejenigen Stoffe, welche als Mittelglieder in eine gute Leitung, z. B. von Metalldrähten gebracht, die Ausgleichung der entgegengeſetzt elektriſchen Zuſtände entweder ganz verhindern, oder wenn ſie gegen die Menge oder vielmehr Spannung der erregten Elektricität von zu geringer Maſſe ſind, beim Uebergange derſelben durch die Leitung, eine exploſive Entladung, eine Platzung verurſachen. Unter den ſtarren Körpern gehören zu den vorzüglichen Iſolatoren: das Glas, ſowohl das natürliche als künſtliche, die durchſichtigen Edelſteine, die Harze: Schellack, Siegellack, Federharz, Gutta Percha, Collodion, Wachs, beſonders auch die trockenen Hautbedeckungen der Thiere: Haare, Pelzwerk, Federn, das Geſpinnſt der Seidenraupe und die aus demſelben bereitete Seide. Auch der Zucker, trockenes arabiſches Gummi, die trockenen Pflanzenſäuren und Pflanzenſalze, Holz, Rinde (beide nur im höchſt trockenen Zuſtande), Baumwolle, ſind Nichtleiter, wogegen die Faſer des Leines, das Garn und die daraus gewebten Zeuge, Hollundermark auch ausgetrocknet Leiter der Elektricität ſind. Die fetten Oele des Pflanzenreiches gelten als gute Iſolatoren, ſo wie nach Prieſtley auch die ätheriſchen und brenzlichen Oele und die natürlichen Balſame. Aus dem Thierreiche geben alle fetten Subſtanzen (Talg, Wachs, Wallrath ꝛc.) Iſolatoren,

ſo wie auch die ausgetrockneten Theile des thieriſchen Organismus, welche im natürlichen ſaftreichen Zuſtande Leiter ſind. Ferner werden zu den Iſolatoren gerechnet die Metalloide, alle brennbaren Mineralien, mit Ausnahme der Kohlenblende (Anthracit), der mineraliſchen Holzkohle und des Graphits. Endlich ſind auch Iſolatoren die trockene Luft, überhaupt alle Gasarten und Dämpfe, letztere, ſo lange ſie ſich im vollkommenen Gaszuſtande befinden. Daß Eis ein Nichtleiter der Elektricität iſt, und zwar um ſo mehr, je kälter es iſt, haben wir im Art. Eis beſonders hervorgehoben.

Die Iſolationsfähigkeit des Glaſes hängt von deſſen eigenthümlicher Beſchaffenheit ab; es giebt Gläſer, die zu den Leitern gerechnet werden müſſen, wie ſchon Hemmer und Cavallo bemerkt haben *). Viele Iſolatoren, darunter das Glas, werden auch, namentlich an ihrer Oberfläche durch adhärirende Feuchtigkeit zu Leitern der Elektricität.

Achard **) fand, daß die beſten Iſolatoren, namentlich eine Glasſtange, rothglühend gemacht, geſchmolzenes Siegellack, Pech, Bernſtein, Schellack, Wachs, in den Erſchütterungskreis einer Leidner Flaſche gebracht, letztere eben ſo vollſtändig entluden, wie jeder andere Leiter. Eben ſo verhielten ſich die flüſſigen Nichtleiter bei der Erhitzung.

Ueber die elektriſche Leitungsfähigkeit, welche Iſolatoren durch Temperaturerhöhung erlangen, hat in neuerer Zeit Beetz Unterſuchungen angeſtellt ***). Unter den zuſammengeſetzten Körpern ſollten einige durch Erwärmen Leitungsfähigkeit gewinnen, ohne deshalb Elektrolyte zu werden. Dahin gehören nach Faraday: Schwefelſilber, Jodſilber, Fluorblei. Hittorf zeigte aber, daß das erſtere anfänglich eine Zerſetzung erleidet, nachher jedoch durch das abgeſchiedene Silber eine metalliſche Leitung ſich bildet. Beetz fand Fluorblei gut leitend, aber auch elektrolytiſch. Dabei entwickelte ſich am negativen Platindrahte eine ſchwammige Legirung von Blei und Platin, am poſitiven ein Gas in Blaſen, welches das Platin ſtark angriff, alſo ſehr wahrſcheinlich Fluor. Das Fluorblei iſt daher ein Elektrolyt und folgt deshalb auch dem elektrolytiſchen Geſetz. Kieſelſäurehaltige Verbindungen werden ebenfalls durch die Wärme leitend. Waſſerglas nimmt ſchon bei gelinder Erwärmung Leitungsfähigkeit für ganz ſchwache galvaniſche Ströme an. Sobald dies geſchah, und noch vor dem Schmelzen des Glaſes, erſchienen die Platinbleche, welche den Glasſtreifen trugen, polariſirt. Als ein Strom bei beginnender Erweichung eine halbe Stunde gewirkt hatte, wurde das Glas abgekühlt und von den Unterlagen gebrochen. Das Waſſerglas hatte zuvor etwas alkaliſch reagirt, jetzt war dieſe Reaction an dem Ende, welches auf dem poſitiven Blech gelegen hatte, verſchwunden, am anderen verſtärkt. Dieſer Körper war alſo elektrolyſirt. Mit Reibungselektricität nahm das Waſſerglas ebenfalls die Polariſationen in der zu erwartenden Richtung an, nur ſind hier die Wirkungen ſo ſchwach, daß man ſich vor den thermoelektriſchen Strömen ſehr hüten muß, die durch ungleiche Erwärmung der beiden Berührungsſtellen von Glas und

*) Journ. de Physique. T. XVI. p. 51. Vergleiche auch Gilb. Ann. Bd. XXIV. S. 328.

**) Journal de Physique. T. XV. p. 118.

***) Monatsber. der Berl. Akademie. S. 361. Zeitſchrift für die Geſammt. Naturw. vom naturw. Ver. für Sachſ. und Thür. 1854. Nr. IX. S. 226.

Digitized by Google

Metall entſtehen. Dies geſchah durch Anwendung eines Sandbades, da Sand auch bei ſtarker Temperaturerhöhung ſo wenig leitet, daß er ein Elektroſkop nur langſam entladet. Aehnliche Verſuche wurden mit gewöhnlichem Glas angeſtellt, in das jedesmal zwei Platindrähte ſo eingeſchmolzen wurden, daß ſie ſich nicht berührten. Die Polariſationen traten regelmäßig ein, ein Beweis, daß Zerſetzung ſtattgefunden hatte. Nach Beendigung der Verſuche blieben chemiſch veränderte Theilchen des Glaſes auf den Unterlagen zurück. Den Anfang des Leitungsvermögens für galvaniſche Ströme fand Beetz bei verſchiedenen Glasſorten zwiſchen 200 und 220°, nach Becquerel bei 300°. — Nach dieſen Verſuchen bleibt kein Körper übrig, der bei zunehmender Temperatur leitender wurde und nicht elektrolytiſch leitete, d. h. ſo, daß mit der Leitung eine Zerſetzung verbunden war. Beetz hat auch durch Sublimation gereinigtes Jod zwiſchen Platindrähten, wenn gleich ſchwach, leitend gefunden. Die Drähte waren aber jedesmal polariſirt, ſo daß die Leitung eine elektrolytiſche, und dieſelbe einer flüchtigen Beimengung, vielleicht von Jodwaſſerſtoffſäure, zuzuſchreiben war.

Wenn die Entladung der Leidner Flaſche durch eine Luftſtrecke geſchieht, ſo ſteht die Schlagweite nach Verſuchen von S. Harris im umgekehrten Verhältniß zur Dichtigkeit der Luft, was auch für andere Gasarten gilt. Was den Einfluß der Gasart auf die Schlagweite betrifft, ſo iſt hierüber im Artikel Flaſche, elektriſche (Bd. III. S. 257) eine Tabelle von Faraday mitgetheilt worden, aus der hervorzugehen ſcheint, daß außer der Dichte der Gaſe noch ein ihnen eigenthümliches Leitungsvermögen von Einfluß iſt, ſo daß die Gaſe, obgleich ſogenannte Nichtleiter, doch mit verſchiedener Fähigkeit verſehen ſind, die Elektricität zu zerſtreuen oder durchzulaſſen. Auch werden die Gaſe durch geſteigerte Erhitzung immer mehr zu Leitern der Elektricität.

Aus den bisher angeſtellten Betrachtungen ergiebt ſich, daß nach Maßgabe der Temperatur, des Feuchtigkeitszuſtandes, der Gruppirung der kleinſten Theilchen und anderer Umſtände ſelbſt ein und derſelbe Körper als Nichtleiter, ſchlechter Leiter und guter Leiter auftreten könne. Man hat es daher auch für überflüſſig erachtet, noch eine beſondere Klaſſe von Körpern unter dem Namen von Halbleitern der Elektricität zu unterſcheiden. Man rechnete zu derſelben namentlich diejenigen Körper, welche auch nach einer mäßigen Austrocknung noch einen Antheil Feuchtigkeit zurückhalten und durch dieſen zu mittelmäßigen Leitern werden, wie Elfenbein, Schildpatt, Knochen, Horn, Leder, Papier, Pergament, gewöhnliches Holz, Marmor, Alabaſter u. a. m.

Es ſei hier noch einer Vorrichtung von Rouſſeau *) erwähnt, des ſogenannten Diagometer's (griech. Leitungsmeſſer), welche auf den Art. Galvanismus verwieſen war, aber in dieſem Artikel eine paſſendere Stelle findet. Dieſer Apparat ſollte dazu dienen, die relative Iſolationsfähigkeit oder das relative Leitungsvermögen verſchiedener Flüſſigkeiten zu ermitteln. Eine trockene (Zamboniſche) vertikale Säule wird mit ihrem unteren Pol mit dem Erdboden in leitende Verbindung geſetzt, während ihr oberer Pol durch einen Metalldraht mit einem iſolirt vertikalen Stifte communicirt, auf welchem eine horizontale ſchwach magnetiſche Stahlnadel im magnetiſchen Meridian ſchwebt. In der nämlichen

*) Ann. de Chim. et Phys. T. XXV. p. 373.

Höhe mit der Nadel und in einer Entfernung vom Stifte, welche faſt der halben Länge der Nadel gleich iſt, findet ſich eine, ebenfalls mit dem oberen Pol der Säule in leitender Gemeinſchaft ſtehende, übrigens iſolirte, Metallkugel, oder ein Scheibchen von Metall, welches ſo angebracht iſt, daß es gerade vor dem einen Ende der Nadel ſteht. Da ſich nun die Elektricität des oberen Poles ſowohl in das Scheibchen als in die Nadel verbreitet, ſo muß hierdurch eine Abſtoßung entſtehen, welche die Nadel von dem Scheibchen abzulenken ſtrebt. Nach einigen Oscillationen wird die Nadel zuletzt unter einem gewiſſen Ablenkungswinkel von dem Scheibchen ſtehen bleiben. Die Zeit nun, in welcher die Nadel zu Ruhe kommt und das Maximum der Ablenkung erreicht, iſt größer oder kleiner, je nachdem man auf dem Wege, den die Elektricität von der Säule bis zum Scheibchen zu durchlaufen hat, Flüſſigkeiten von ſchlechterem oder beſſerem Leitungsvermögen einſchaltet, und durch Vergleichung dieſer Zeiten für verſchiedene Flüſſigkeiten laſſen ſich ungefähr größere oder kleinere Differenzen ihres Leitungsvermögens beſtimmen. Es iſt aber erforderlich, daß die Länge und Dicke der zu durchlaufenden Schicht der flüſſigen Körper immer von gleicher Größe ſind, was Rouſſeau dadurch erlangte, daß er ſie in ein metallenes Schälchen that, deſſen Boden mit der Nadel und dem Scheibchen communicirt, und nun den Verbindungsdraht von der Säule ſtets bis zu derſelben Tiefe einſenkte, worauf er die Dauer der Bewegung der Nadel maß. Auf dieſe Weiſe fand Rouſſeau, daß das Olivenöl ein viel geringeres Leitungsvermögen als die meiſten anderen Oele beſitzt. Bei Buchecker- und Mohnöl waren nur 27 Secunden erforderlich, um eine Ablenkung hervorzubringen, welche beim Olivenöl erſt nach 40″ eintrat. Wenn dem Olivenöl $^1/_{100}$ eines anderen Oels zugefügt wurde, ſo reducirte ſich dieſe Zeit von 40 auf 10″. In ähnlicher Weiſe ſuchte Rouſſeau dieſe Vorrichtung auch für feſte Körper zu verwenden.

Viele Kryſtalle beſitzen nach ihren verſchiedenen Dimenſionen eine verſchiedene Leitungsfähigkeit für die Elektricität, worüber Wiedemann *) Verſuche angeſtellt hat, deren Reſultate in der Hauptſache im Art. Figuren, elektriſche (Bd. III. S. 194) mitgetheilt worden ſind. Derſelbe benutzte nämlich zur Darſtellung dieſer ungleichen Leitungsfähigkeit die Lichtenberg'ſchen Figuren. Wenn man eine Glas- oder Pechfläche, oder die Fläche eines zum regulären Syſteme gehörigen Kryſtalls mit einem Pulver wie Semen lycopodii beſtreut und eine normal auf der Fläche ſtehende Metallnadel mit dem Knopfe einer auf der inneren Belegung poſitiv geladenen Flaſche berührt, ſo entſteht durch die theilweiſe Entblößung der Fläche vom Staube eine Figur, deren Strahlen von der Nadelſpitze aus ziemlich gleich lang ſind. Wird hingegen zum Verſuche ein nicht zum regulären Syſteme gehöriger Kryſtall angewendet, z. B. Gyps, ſo ſind die Strahlen in einer Richtung am längſten, in der ſenkrecht darauf ſtehenden am kürzeſten. Die Figur iſt alſo im erſten Falle kreisförmig, im zweiten elliptiſch. Die Kreisform lehrt, daß die Leitung in allen Richtungen der Fläche gleich gut, die elliptiſche Form, daß ſie ungleich ſei, und zwar giebt die große Axe der Ellipſe die Richtung der beſten Leitung an. Wiedemann fand auf dieſe Weiſe, daß einige Kryſtalle, welche zu den optiſch negativen gehören, in der Richtung der kryſtallographiſchen Axe die Elektricität am beſten leiten, andere Kryſtalle, die mit Ausnahme des

*) Pogg. Ann. Bd. LXXVI. S. 404; Bd. LXXVII. S. 534.

Feldspaths zu den optisch positiven gehören, hingegen in der Richtung am besten leiten, welche auf dieser Axe senkrecht steht.

Aehnlich wie die Elektricität wird auch die Wärme von gewissen Krystallen nach verschiedenen Richtungen ungleich geleitet (s. d. Art. Wärmeleitung). Maggi *) fand nun, daß magnetisirtes weiches Eisen die Wärme in der Richtung winkelrecht gegen die Verbindungslinie der Pole besser leitet, als in dieser Linie selbst. Es fragt sich, ob solches Eisen nicht einen ähnlichen Unterschied in Bezug auf das elektrische Leitungsvermögen darbietet. Aeltere Versuche liegen von Fischer **) und Abraham ***) vor. Nach Ersterem soll der Magnetismus das Leitungsvermögen des Stahles schwächen, während der Letztere das Gegentheil behauptet. Wartmann ****) konnte keine Veränderung der elektrischen Leitungsfähigkeit durch Einwirkung des Magnetismus finden, eben so wenig in neuerer Zeit Edlund *****), dessen Versuche zu dem Resultate führten, daß das weiche Eisen beim Magnetisiren sein Leitungsvermögen nicht merklich verändere, in welcher Richtung auch die Elektricität (bezüglich der Verbindungslinie beider Pole) durch dasselbe gehen möge.

Wir wissen, daß wir den Erdkörper selbst als einen Leiter zu betrachten haben, und weil er eine so große Oberfläche darbietet, ist er besonders geschickt, anderen Körpern die Elektricität zu entziehen oder diese letztere abzuleiten. Nach den Bemühungen von Steinheil ist es jetzt gebräuchlich, bei Telegraphenlinien den Erdboden in den leitenden Kreis der galvanischen Kette einzuschalten, so daß derselbe etwa die eine Hälfte der ganzen Leitung ausmacht. Versuchen von Matteucci †) und Jacobi ††) zufolge hat sich nun ergeben, daß der Leitungswiderstand des Erdbodens, selbst auf sehr große Entfernungen, fast Null ist. Dieses Resultat kann auf den ersten Blick etwas befremdend erscheinen, wenn man bedenkt, daß die Leitungsfähigkeit einer feuchten Erdstrecke doch bei weitem geringer ist als die des Telegraphendrahtes. Man könnte hier zwar an eine Ausgleichung denken auf Grund des breiten Querschnitts, den die Erde darbietet; allein dies scheint nicht auszureichen, um die Versuche in Einklang mit anerkannten Gesetzen der Elektricität zu bringen. Das Auffallende verschwindet jedoch, wenn man theoretisch genauer die Art und Weise betrachtet, wie die Entladung der galvanischen Kette unter den gegebenen Umständen von Statten geht. Das Nähere hierüber †††) und über jene Versuche in den Art. Strom, elektrischer und Telegraphie.

Wir wollen nun zum Schlusse dieses Artikels noch einige theoretische Erklärungen geben, welche als Ergänzung zu den theoretischen Betrachtungen in den Art. Elektricität, Galvanismus ꝛc. anzusehen sind. Auf Grund der

---

*) Arch. d. scienc. phys. et nat. T. XIV. p. 132.
**) Kastner's Arch. Bd. III. S. 421.
***) Pogg. Ann. Bd. I. S. 357.
****) Arch. d. scienc. phys. et nat. T. XIII. p. 35.
*****) Pogg. Ann. Bd. XCIII. S 315.
†) Compt. rend. T. XXII. p. 86.
††) Pogg. Ann. Bd. LXVI. S. 208.
†††) Vergl. auch Cornelius: Die Lehre von der Elektricität und dem Magnetismus ꝛc. Leipzig 1855. S. 44 ff. u. S. 89 ff.

Betrachtungen im Art. Elektricität nehmen wir ein elektriſches Fluidum an, deſſen Elemente die Maſſentheilchen der Körper in der Form von Sphären einhüllen. Da nun die Maſſentheilchen verſchiedener Körper verſchieden ſind, ſowohl qualitativ als auch hinſichtlich ihrer Gruppirung, ſo werden auch die Sphären, welche die Elemente des Elektricums um die verſchiedenen Maſſentheilchen vermöge gegenſeitiger Anziehung gebildet haben, nicht durchweg von gleicher Conſtitution ſein; denn ohne Zweifel werden die verſchiedene qualitative Beſchaffenheit und Gruppirung dieſer Maſſentheilchen von Einfluß ſein müſſen auf die Gruppirung der elektriſchen Elemente. Demgemäß wird den letzteren ein verſchiedener Grad der Beweglichkeit in verſchiedenen Körpern zukommen. Der Unterſchied zwiſchen den Leitern und Iſolatoren oder zwiſchen den guten und ſchlechten Leitern beruht nun zunächſt darauf, daß die elektriſchen Sphären den Maſſentheilchen der letztgenannten Körper mit größerer Energie adhäriren, indem die Elemente des Elektricums um dieſe Maſſentheilchen beharrlicher gruppirt ſind. Die elektriſchen Sphären der ſchlechten Leiter werden ſich darum auch weniger leicht aus ihrer Gleichgewichtslage entfernen laſſen (z. B. beim Proceß der elektriſchen Vertheilung u. dergl.) als die Sphären der guten Leiter.

Man denke ſich einen mehr oder weniger guten Leiter zwiſchen den Polen einer galvaniſchen Kette oder den beiden Belegungen einer geladenen Leidner Flaſche. Nun bezeichnet (ſ. d. Art. Elektricität und Galvanismus) der ſogenannte negativ elektriſche Zuſtand denjenigen Zuſtand eines Körpers, worin dieſer mehr Elektricum als im gewöhnlichen Zuſtande enthält, während er im poſitiv elektriſchen Zuſtande weniger davon beſitzt. Es iſt alſo am negativen Pol einer galvaniſchen Kette oder auf der negativen Belegung einer Leidner Flaſche Elektricum angehäuft. Das auf der Oberfläche eines Körpers angehäufte Elektricum übt aber einen beſtimmten Druck auf die elektriſchen Sphären aus, welche um die Maſſentheilchen der umgebenden Materie vorhanden ſind. Dadurch erleiden dieſe Sphären eine Veränderung ihrer Geſtalt, indem ſie nach der entgegengeſetzten Seite hin zurückgedrängt werden. Ein poſitiv elektriſirter Körper ſucht hingegen Elektricum aus der Umgebung aufzunehmen, ſo daß die elektriſchen Sphären der letzteren ſich zu demſelben hindehnen. Befindet ſich alſo ein mehr oder weniger guter Leiter zwiſchen den Belegungen einer Leidner Flaſche oder zwiſchen den Polen einer galvaniſchen Kette, ſo wird das am negativen Pol angehäufte Elektricum in dieſen Leiter einzudringen ſuchen, indem es die elektriſchen Sphären um die Maſſentheilchen des letzteren nach der entgegengeſetzten Seite hin verdrängt, während der poſitive Pol auf der anderen Seite dem Leiter Elektricum zu entziehen ſucht. Es findet demnach in dem eingeſchalteten Leiter eine Verſchiebung ſeiner elektriſchen Sphären von dem negativen nach dem poſitiven Pol hin ſtatt. Und im Augenblick der Entladung dringt eben ſo viel Elektricum vom negativen Pol in den Leiter ein, als der poſitive Pol von dem letzteren aufnimmt. Man ſieht nun leicht ein, daß die Leichtigkeit, womit dieſer Proceß (und mit ihm auch die Leitung der Elektricität) von ſtatten geht, abhängig ſein wird von der größeren oder geringeren Beweglichkeit der elektriſchen Sphären in dem zwiſchen den Polen eingeſchalteten Körper. Je größer dieſe Beweglichkeit iſt, deſto nachgiebiger werden die elektriſchen Sphären des betreffenden Körpers gegen den elektriſchen Druck ſein, der vom negativen Pol ausgeht, und um ſo leichter werden dieſelben auch der Anziehung Folge leiſten können, welche von dem poſitiven Pol ausgeübt wird.

Digitized by Google

Die elektriſchen Sphären um die Maſſentheilchen der Leiter laſſen ſich hiernach vergleichen *) mit den Theilchen einer expanſibeln Flüſſigkeit, die durch einen Druck leicht comprimirt wird und in der Richtung deſſelben eine beträchtliche Verſchiebung ihrer Theilchen erleidet. Bei einem ſchlechten Leiter findet dies natürlich in einem viel geringeren Grade oder unter Umſtänden auch gar nicht ſtatt. Bei einem ſogenannten Iſolator iſt eine bedeutende Gewalt erforderlich, um eine beträchtliche Verſchiebung ſeiner elektriſchen Sphären in dem angegebenen Sinne zu bewirken, und die Folge davon iſt öfter nur die, daß die Maſſentheilchen des Iſolators ſelbſt, indem die elektriſchen Sphären aus dem natürlichen Zuſammenhange mit denſelben herausgeriſſen werden, ihren eigenen Zuſammenhang verlieren, ſo daß der Iſolator durch die Entladung eine Zertrümmerung (Platzung) erleidet.

Während der Entladung (oder Leitung der Elektricität) findet nun ein Uebergang der elektriſchen Elemente von einem Maſſentheilchen zum anderen ſtatt, indem die elektriſche Sphäre jedes vorhergehenden Maſſentheilchens in das des folgenden eingreift. Dieſer Uebergang des Elektricums geht wahrſcheinlich im Allgemeinen um ſo beſſer von ſtatten, je dichter die Maſſentheilchen an einander liegen. Bei den Metallen nimmt die Leitungsfähigkeit mit wachſender Temperatur ab, weil mit der Ausdehnung durch die Wärme auch die Dichte der Metalle ſich vermindert. Die Erwärmung kann aber auch noch andere Folgen haben als die bloße Ausdehnung. Es läßt ſich denken, daß mit der Erwärmung die Anziehung zwiſchen den elektriſchen Sphären und den Maſſentheilchen geringer wird, ſo daß dadurch die Beweglichkeit der erſteren wächſt, und dieſelben hiermit eine größere Fähigkeit gewinnen, einem vertheilenden Einfluß nachzugeben. Es wird alſo, wenn dem ſo iſt, das Leitungsvermögen durch die Erwärmung vermehrt werden. Für die Metalle iſt dies von geringerer Bedeutung, weil den elektriſchen Sphären ihrer Maſſentheilchen ſchon anfänglich gewiſſermaßen eine größere Elaſticität zukommt. Bei ihnen überwiegt deshalb der verzögernde Einfluß der Erwärmung, welcher von der verminderten Dichte herrührt. Bei den tropfbaren Flüſſigkeiten und verſchiedenen Iſolatoren aber, um deren Maſſentheilchen die elektriſchen Sphären von Haus aus beharrlicher gruppirt ſind, verhält es ſich umgekehrt. Hier hat der andere Einfluß der Erwärmung, welcher die elektriſchen Sphären beweglicher macht, das Uebergewicht. Alsdann kommt bei dieſen Flüſſigkeiten noch ein anderer Umſtand in Betracht. Der Entladung einer galvaniſchen Kette durch einen flüſſigen Leiter geht nämlich eine beſondere Anordnung der kleinſten Maſſentheilchen dieſes Leiters voraus (ſiehe den Artikel Galvanismus Bd. III. S. 366, 369 ff.), eine Anordnung, welche von den Polen aus bewerkſtelligt wird. Der Act der Entladung ſelbſt und der damit verbundene Uebergang der Elektricität von einem Maſſentheilchen zum anderen (alſo auch die Leitung der Elektricität) findet erſt dann ſtatt, wenn die Elemente des flüſſigen Leiters die erwähnte Anordnung gewonnen haben. Durch dieſe Anordnung der kleinſten Theilchen iſt aber auch die Zerſetzbarkeit der Flüſſigkeit bedingt. In ſofern nun durch die Erwärmung nicht allein die elektriſchen Sphären, ſondern auch die Maſſentheilchen ſelbſt eine größere Beweglichkeit gewinnen, wird mit der Temperaturerhöhung ſowohl das Leitungsvermögen als auch die Zerſetzbarkeit der Flüſſigkeiten

*) Cornelius, Lehre von der Elektricität und dem Magnetismus ꝛc. S. 41 ff.

Digitized by Google

bis zu einem gewiſſen Grade zunehmen. Auch hängt es hiermit zuſammen, daß manche Flüſſigkeiten, wie Zinkvitriollöſung und Schwefelſäure im concentrirten Zuſtande weniger gut leiten als im Zuſtande einer mäßigen Verdünnung, weil in jenem wegen einer gewiſſen Schwerflüſſigkeit die Beweglichkeit der Maſſentheilchen beeinträchtigt iſt.

Leiter der Wärme, ſ. Wärmeleitung.

Leitungsvermögen (-fähigkeit), ſ. Leiter der Elektricität.

Leitungswiderſtand, ſ. Leiter der Elektricität.

Leuchtgas, ſ. Gasbeleuchtung.

Leuchtthürme, ſ. Brennglas.

Libelle, Waſſerwaage mit Luftblaſe (franz. niveau à bulle d'air) iſt ein Inſtrument, deſſen man ſich zur Herſtellung und Beobachtung einer horizontalen Richtung bedient, und deſſen Einrichtung darauf beruht, daß in einem mit Flüſſigkeit faſt ganz gefüllten Gefäße der noch mit Luft gefüllte Theil ſtets die höchſte Stelle einnimmt. An einer bis auf einen kleinen Theil gefüllten Weinflaſche iſt die betreffende Beobachtung leicht zu machen.

Die Form des Flüſſigkeitsbehälters iſt an ſich beliebig, und danach könnte es ſehr verſchieden geformte Libellen geben, indeſſen ſind doch nur zwei Formen in Gebrauch gekommen, nämlich die Doſen- und die Röhrenlibelle.

Die Doſenlibelle beſteht aus einem kleinen cylindriſchen Gefäße von 2 bis 4 Zoll Durchmeſſer und $^1/_2$ bis 1 Zoll Höhe, welches oben mit einem waſſerdicht eingeſetzten, nach oben ein wenig convexen Spiegelglaſe verſchloſſen iſt. Das Gefäß, welches mithin die Form einer runden Doſe hat, iſt von Meſſing; der Rand deſſelben ſpringt ringsherum etwa in der Höhe einer Linie über den Boden heraus, und in der Mitte des Bodens iſt eine Oeffnung angebracht, welche durch eine Schraube verſchloſſen werden kann. Die Mitte des Deckglaſes iſt mit einem Pünktchen oder einem kleinen Kreiſe bezeichnet und überdies umgeben dieſelbe noch mehrere concentriſche Kreiſe bis zu 1 Zoll Durchmeſſer, um den Stand der Luftblaſe beſſer beurtheilen zu können. Durch die Bodenöffnung füllt man die Doſe mit Flüſſigkeit, ſo daß nur ein kleiner Raum mit Luft gefüllt bleibt. Verſchließt man hierauf die Oeffnung durch die Schraube und kehrt die Libelle um, ſo erblickt man am Glaſe eine Luftblaſe, und nun kommt es darauf an, daß dieſe genau in der Mitte ſteht, wenn die Doſe auf eine horizontale Fläche, z. B. auf einen horizontal geſtellten Meßtiſch, geſtellt wird. Um dies zu erreichen, wird an dem über den Boden vorſpringenden Rande ſo lange abgeſchliffen, bis die Luftblaſe genau in der Mitte des Glaſes ruhig ſteht. Es iſt klar, daß die Doſenlibelle über die Horizontalität der Fläche Aufſchluß giebt, welche von dem Boden eingeſchloſſen iſt, alſo die Horizontalität nach allen Richtungen in dieſer Fläche nachweiſt. In ſofern iſt die Doſenlibelle ſehr bequem; indeſſen beſitzt ſie keine große Empfindlichkeit, weil ſie in ihrem Durchmeſſer auf eine geringe Länge beſchränkt bleiben muß, die Empfindlichkeit aber mit der Länge wächſt. Deshalb wendet man die Doſenlibellen nur bei groben oder annähernden Beſtimmungen an, nie aber, wo es, wie bei geodätiſchen und aſtronomiſchen Meſſungen, zur Prüfung und Berichtigung der Hauptbewegungen an den Inſtrumenten, zur Verſicherung des horizontalen oder verticalen Standes der Theilungskreiſe, der unveränderten Lage der Nonien oder Mikroſkope derſelben, auf Genauigkeit ankommt.

Zu der Röhrenlibelle wird gewöhnlich eine 2 bis 9 Zoll lange, im Durchmeſſer 8 bis 9 Linien weite Glasröhre genommen, die bis auf einen kleinen, mit Luft erfüllten Raum mit Flüſſigkeit gefüllt und an beiden Enden hermetiſch verſchloſſen wird. Nicht ſehr weite Röhren bläſt man zu, wodurch einer Verdunſtung der Flüſſigkeit am beſten vorgebeugt wird. Da dies Zublaſen bei weiteren Röhren, noch dazu, wenn ſie im Glaſe dick ſind, ſeine Schwierigkeiten hat, ſo ſchleift man dieſe an beiden Enden ſtark koniſch aus und ſchließt die Oeffnungen durch genau einpaſſende, ebenfalls koniſch zugeſchliffene Glasſcheiben aus Spiegelglas. Deshalb wird zunächſt die eine Oeffnung verſchloſſen, indem man das Schließungsglas mit einem ſchnell trocknenden Kitte aus Leinölfirniß und Silberglätte einkittet. Hierauf füllt man die Röhre mit der Flüſſigkeit (Alkohol oder Schwefeläther, ſ. unten), zündet dieſe an, ſo daß ein Theil verzehrt wird, und drückt dann das bereits mit Kitt verſehene Schließungsglas in die Oeffnung.

Die Röhre der Libelle wird ausgeſchliffen. Wäre hierbei das Rohr im Innern ſeiner ganzen Länge nach genau cylindriſch geworden, ſo daß der Längendurchſchnitt eine gerade Linie bildet; ſo würde die Blaſe, wenn es auch gelungen wäre, dieſelbe in die Mitte des Rohres zu bringen, bei der geringſten Neigung, ja ſelbſt bei dem geringſten Temperaturwechſel, alſo bei dem leiſeſten Hauche oder Luftzuge ſofort aus der Stelle weichen und bis an das Ende der Röhre laufen. Kleine Abweichungen von der Horizontalität könnten mithin durch eine ſolche Libelle gar nicht beſtimmt werden. Es iſt daher nothwendig dem Rohre auf der oberen Seite eine ſchwache Krümmung zu geben. Je größer der Halbmeſſer dieſer Krümmung iſt, deſto empfindlicher wird die Libelle. Ferner muß die Röhre calibrirt ſein; denn iſt dies nicht der Fall, ſo wird die Luftblaſe, welche bei verſchiedenen Temperaturen verſchieden lang iſt, ſich nach einer Seite mehr als nach der anderen verlängern oder verkürzen und daher die Mitte der Blaſenlänge nicht immer die Mitte der Blaſe ſein.

Je ſchwächer die Krümmung des Rohres iſt, deſto länger nimmt man in der Regel das Rohr, damit die Blaſe nicht ſofort bei einer kleinen Neigung an das Ende des Rohres tritt. Es ſei z. B. das Rohr 6 Zoll lang und die Blaſe 3 Zoll, die Krümmung ſei aber der Art, daß bei einer Neigung von einer Minute die Blaſe um 1 Linie verſchoben wird, ſo wird erſt bei einer Neigung von 36 Minuten die Blaſe von einem Röhrenende bis zu dem anderen wandern; wäre aber die Krümmung der Art, daß eine Linie Verſchiebung der Blaſe einer Neigung von einer Secunde entſpräche, ſo würde die Blaſe ſchon bei einer Neigung von 36 Secunden ſich von einem Ende der Röhre bis zu dem anderen bewegen. Hiernach ſcheint es zweckmäßig zu ſein, recht empfindliche Libellen recht lang zu machen. Indeſſen überſchreitet man doch nicht leicht die oben angegebene Länge bis zu 9 Zoll und den Durchmeſſer bis zu 9 Linien, weil die Veränderungen in der Länge der Luftblaſe dann bei eintretendem Temperaturwechſel ſehr bedeutend werden.

Zur Füllung der Röhre nimmt man Alkohol oder Schwefeläther. Zu guten Libellen ſollte nur der letztere gewählt werden. Durch das Abbrennen der Flüſſigkeit beim Verſchließen des Rohres wird nämlich der Raum, welcher die Blaſe bildet, bei einer Füllung mit Schwefeläther nahe luftleer, was bei Alkohol nicht ſo leicht eintritt, und daher kommt wohl die große Empfindlichkeit und Beweglichkeit der Aetherniveaus gegen die Alkoholniveaus bei ſonſt ganz gleicher Conſtruction, wobei dennoch die Blaſe ſchneller zur Ruhe kommt. Ein Uebelſtand iſt

Digitized by Google

jedoch bei den mit Aether gefüllten Libellen die größere Veränderlichkeit der Blasenlänge. Es kann sein, daß bei + 30° R. die Blase faſt ganz verſchwindet, während dieſelbe bei — 15° R. faſt die ganze Röhrenlänge einnimmt. Da dies mit abhängig iſt von dem Quantum der Flüſſigkeit, ſo macht man die längſten Aetherniveaus nur mit einem Durchmeſſer von 6 bis höchſtens 8 Linien.

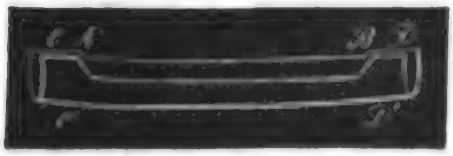
Um durch ein Beiſpiel den Einfluß der Temperatur nachzuweiſen, führen wir Beobachtungen von Struve an, welche derſelbe in Zeit von 6 Monaten an einer Libelle von 10 Zoll engl. Länge, 0,8 Zoll äußerem Durchmeſſer, und eingetheilt in 110 Par. Linien gemacht hat. Die Libelle befand ſich an dem im erſten Vertical zu Pulkowa aufgeſtellten großen Repſold'ſchen Paſſageninſtrument. Bei + 20° R. iſt die Blaſenlänge = 30 Linien, bei — 20° R. = 100 Linien und auf 1 Linie Ausſchlag kommt eine Neigung von ungefähr einer Secunde.

Die Reſultate der Beobachtungen waren folgende:

Thermometer	Halbe Blaſenlänge in Theilen	Werth eines Theiles
+ 18°,5 R.	15,7	1″,08
15,9	18,8	1,04
12,9	21,5	1,00
6,4	28,2	0,99
0,1	33,5	1,01
— 4,1	36,9	1,01
— 9,1	40,5	0,99
— 11,0	41,9	1,01

Das Zweckmäßigſte iſt eine Blaſenlänge gleich der halben Länge des Rohres bei einer mittleren Temperatur.

Die gefüllte und verſchloſſene Röhre kommt nun in ein meſſingenes Rohr CDD'C' (ſ. beiſteh. Figur), welches von A bis B ausgeſchnitten iſt, ſo daß man die Röhre frei liegen ſieht. In der Mitte zwiſchen A und B iſt der höchſte Punkt der kreisförmigen Krümmung A B der Glasröhre, und dort wird alſo auch, wenn die Libelle genau horizontal geſtellt wird, die Luftblaſe ſtehen. Denkt man ſich nun die Metallröhre entweder unten bei C' und D' mit zwei Fußgeſtellen, um ſie dadurch z. B. auf einen Tiſch zu ſtellen, oder oben bei C und D mit 2 Haken verſehen, um ſie dadurch an irgend eine Axe (z. B. an die Drehungsaxe eines Paſſageninſtrumentes) zu hängen, ſo wird man in jenem Falle den Tiſch und in dieſem die Axe horizontal ſtellen können, wenn die Neigung des Tiſches und der Axe durch Schrauben verändert werden kann, indem man ſo lange corrigirt, bis die Blaſe in der Mitte ſteht, vorausgeſetzt, daß auf einem horizontalen Tiſche die Füße und bei einer horizontalen Axe die Haken ſo abgepaßt waren, daß die Blaſe die Mitte der Röhre einnahm. Um die Libelle dahin zu bringen, daß auf einem horizontalen Tiſche und an einer horizontalen Axe die Blaſe in der Mitte der Röhre ſteht, wird eins



jener Fußgeſtelle und einer jener Haken ſo eingerichtet, daß ſie ſich mittelſt einer angebrachten Schraube etwas verlängern oder verkürzen laſſen. Libellen zum Aufſetzen auf Flächen verſteht man auch wohl mit einer maſſiven ebenen Platte, welche die beiden Fußgeſtelle trägt; mit dem einen iſt die Libelle am Ende der Faſſung durch eine Schraube in feſter Verbindung oder durch ein Charnier eingelenkt, an dem anderen Fußgeſtelle kann das andere Röhrenende durch eine Schraube ein wenig gehoben oder geſenkt werden.

Iſt die Libelle ſo weit hergeſtellt, daß auf horizontalem Tiſche oder an horizontaler Axe die Blaſe in der Mitte ſteht, ſo bringt man bei feinen Libellen noch Theilſtriche an, welche dem Neigungswinkel entſprechen, welchen ein nicht genau horizontaler Tiſch oder eine nicht genau horizontal liegende Axe mit dem Horizonte bilden. Bei guten Libellen iſt immer auf den Verſchlußplatten der Winkel angegeben, welcher der Entfernung der Theilſtriche entſpricht.

Iſt dies mit Genauigkeit ermittelt, ſo kann man daraus leicht den Radius finden, nach welchem die Krümmung der Röhre geſchliffen iſt. Es ſei a die Weite der Theilſtreiche, w der Winkel in Secunden, der auf einen ſolchen Theil kommt, und der zur Krümmung gehörige Radius = R, ſo iſt, da $2R\pi = 1296000$ Secunden beträgt,

$$R = \frac{206265 \cdot a}{w}.$$

Iſt z. B. a = 1 Linie, und die Libelle ſo eingetheilt, daß auf 4 Theile Ausſchlag ein Neigungswinkel von 10 Sec. kommt, ſo iſt $R = \frac{206265 \cdot 4}{10} =$ 82506 Linien oder nahe 573 Fuß.

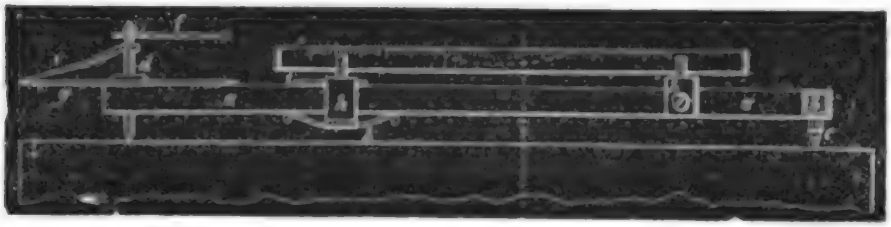
An den großen genauen aſtronomiſchen Inſtrumenten werden Libellen mit einer Krümmung von mehr als 1000 Par. Fuß Radius bisweilen verwendet. Daß die Röhre calibrirt ſein müſſe, iſt ſchon oben erwähnt; hier machen wir nochmals darauf aufmerkſam, weil, wenn die Röhre nicht calibrirt und der Bogen kein richtiger Kreisbogen iſt, der Werth der Theilung nicht überall derſelbe ſein kann. Um ſich von der Gleichwerthigkeit der Theile zu überzeugen, bedient man ſich folgenden Apparates *):

Eine Stange a a von Eiſen (ſ. umſtehende Fig. I. u. II.) hat am einen Ende ein Querſtück b von etwa 5 Zoll Länge, worin zwei gleich hohe Stahlſpitzen c c eingeſchraubt ſind. Am anderen Ende geht eine feine und ſehr genaue Schraube d durch dieſelbe, welche den dritten Stützpunkt bildet, und wodurch der Stab am einen Ende ſich höher und tiefer ſtellen läßt. Die Schraube trägt einen zwiſchen Spitzen beweglichen Zeiger e und einen Arm f, an welchem ſie umgedreht wird; auf der Stange iſt eine eingetheilte Scheibe g von etwa 5 Zoll Durchmeſſer concentriſch mit der Schraube feſt. h, h' ſind zwei verſchiebbare Lager, wovon das eine h bei Fig. III. beſonders gezeichnet iſt (von vorne geſehen). Dieſes läßt ſich durch einen Keil i, dem eine Feder k entgegenwirkt, erhöhen. In dieſe Lager wird die zu unterſuchende Libelle gelegt.

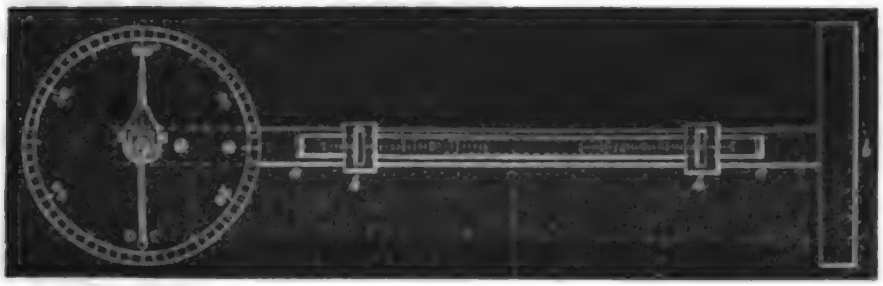
*) Das orthoſkopiſche Ocular von Kellner. Anhang: Zur Kenntniß und genauen Prüfung der Libellen oder Niveaus von M. Henſoldt. Braunſchweig 1849. S. 58.

Nimmt man nun zur Schraube ein ſehr feines Gewinde, das etwa 130 Gänge auf 1 Par. Zoll hat, ſo kann man die Länge des Stabes leicht ſo berechnen, daß

I.



II.



III.

eine Umdrehung der Schraube denſelben genau um einen Winkel von 1 Minute erhöht oder neigt. Sie iſt nämlich $= \frac{a}{\sin . 1'}$, wo a = einer Gangweite in Theilen des Zolls ausgedrückt iſt. Das Reſultat giebt die Länge der Stange in Zollen. Da sin. 1′ conſtant iſt, wenn ein Umgang = einer Minute ſein ſoll, ſo braucht man nur die Gangweite in einen Decimalbruch zu verwandeln und durch die Zahl 0,00029088 ... zu dividiren, um ſogleich die Länge des Stabes zu erhalten. Sei z. B. eine Gangweite $= \frac{1}{130}$ Zoll, ſo iſt $\frac{1}{130} = 0{,}007692 \ldots$, alſo

$\frac{0{,}007692}{0{,}00029088} = 26{,}445$ Zoll die Länge der Stange von der Spitze der Schraube bis zu der die Fußſpitzen verbindenden geraden Linie.

Je gröber das Gewinde der Schraube iſt, deſto länger muß natürlich der Stab werden. Hat man daher keine ſo feine Schraube, ſo kann auch eine mit 80 bis 90 Gängen auf einen Zoll angewendet werden, wobei man dann das Inſtrument ſo einrichtet, daß eine Umdrehung = 2 Minuten iſt. Das Inſtrument wird dann gegen 20 Zoll lang. Im erſteren Falle wird die Scheibe in 60, im letzteren in 120 Theile getheilt, wovon ein Theil = 1 Sec. iſt.

Bei der Unterſuchung ſelbſt wird auf folgende Weiſe verfahren: Die Lager h, h′ werden je nach der Länge der zu unterſuchenden Libelle ſo geſtellt, daß letztere gegen eine etwaige Biegung durch ihr eigenes Gewicht geſchützt wird, ſo nämlich, daß jedes Ende des Rohres um etwa $^1/_4$ der Länge über das Lager hinaus ragt.

Nachdem die Libelle in die Lager gelegt iſt, desgleichen ſo oft man dieſelbe mit der Hand angefaßt hat, muß gewartet werden, bis die Libelle durchgehends eine gleiche Temperatur angenommen hat, wozu bei feineren Libellen wenigſtens $^1/_4$ Stunde nöthig iſt Dann verfügt man ſich in eine zur Beobachtung bequeme Stellung, behält dieſe während der ganzen Zeit bei, und bringt die Blaſe näherungsweiſe auf den Keil i, genauer aber durch Drehen der Schraube, an die äußerſten Theilſtriche des einen Endes. Hierauf läßt man die Blaſe nach und nach die ganze Röhre durchlaufen, indem man immer die Schraube um eine beſtimmte gleiche Größe dreht und den jedesmaligen Stand der Blaſe abliest, wobei immer ein und daſſelbe Ende derſelben oder auch beide Enden zugleich beobachtet und die Ableſungen notirt werden *).

Es könnte ſcheinen, als ob eine ſo ſorgfältige Herſtellung der Libellen nur da nöthig ſei, wo man mittelſt derſelben die Abweichungen von der Horizontalität beſtimmen wollte, nicht aber wo ſie blos dazu dienen ſollen, die Horizontallinie zu beſtimmen; ja es könnte ſcheinen, als ob im letzteren Falle es gar nicht auf eine genaue regelmäßige Krümmung, ſondern nur auf Empfindlichkeit ankäme. Bedenkt man indeſſen, daß die Länge der Blaſe ſich mit der Temperatur ändert, daß bei einem unrichtigen Bogen, wie bereits oben hervorgehoben iſt, die Blaſe ſich nicht nach beiden Seiten zu gleichviel ausdehnt; ſo leuchtet ein, zu welchen Fehlern ſolche Libellen führen können. Nicht ausgeſchliffene und genau calibrirte Libellen ſind alſo gar nichts nütze. Zu bemerken iſt hierbei noch, daß das Rohr einer Libelle nach dem Schleifen innen nicht polirt werden darf, weil es ſonſt unſicher ſpielt.

Da gute Libellen ſelten angetroffen werden, ſo ſind bei ihrer Anwendung, wenn es auf große Genauigkeit ankommt, beſondere Vorſchriften zu beachten. Man thut am beſten, daß man z. B. bei der Prüfung der Horizontalität der Axe eines Paſſageninſtrumentes die Libelle ſelbſt als ungenau vorausſetzt. Jedenfalls muß man die Libelle nicht blos in einer Richtung beobachten, ſondern ſtets auch in der entgegengeſetzten Aufſtellung. Daß bei Prüfung der Horizontalität einer Fläche es nicht ausreicht, die Libelle in einer einzigen Stellung einſtehen zu ſehen, verſteht ſich von ſelbſt; es muß dies wenigſtens in zwei auf einander ſenkrechten Richtungen der Fall ſein.

Huyghens **) ſoll zwiſchen 1666 und 1681 an einem Fernrohre eine Libelle angebracht haben; ſicher iſt, daß Hooke ***) die Luftblaſe in einer Röhre zum Nivelliren angewendet hat. Der Erfinder der Doſenlibelle iſt gänzlich unbekannt ****). Die erſten genauen Libellen haben wohl Reichenbach und Fraunhofer in München geliefert; übertroffen hat ſie dann, wie es ſcheint,

*) Weitere Vorſichtsmaßregeln und Beiſpiele ſ. a. a. O. Wegen eines von Nixon angegebenen anderen Verfahrens, mittelſt eines Theodolithen den Werth der Scale und die Krümmung einer Libelle zu beſtimmen, ſ. Philos. Mag. March 1829. p. 175. Baumg. Wiener Zeitſchr. VI. S. 252. Fechner's Repert. I. S. 5.

**) Opp. var. Lugd. Bat. 1724. praef.

***) Animadvers. on the first Part of the Machina coelestis of Joh. Hevelius. Lond. 1674. p. 61.

****) Vergl. über die Erfindung und Verbeſſerungen der Nivellirinſtrumente Thom. Stevenſon in: Edinb. New Phil. Journ. N. LXXIII. p. 101.

Repſold in Hamburg, denn Struve vertauſchte die Münchner Libellen mit Repſold'ſchen an den Münchner Fernröhren auf der ruſſiſchen Hauptſternwarte zu Pulkowa.

Henſoldt a. a. O. S. 64 giebt folgende Preiſe für Aetherlibellen an.

Die Libelle giebt auf 1 Theil Ausſchlag einen Winkel von	Länge des Glasrohrs	Durchmeſſer des Glasrohrs	Preis
Secunden	Par. Zoll	Par. Linien	Thlr. Sgr.
30 bis 60	4 bis 4½	6 bis 7	2 15
15 " 20	4 " 4½	6 " 7	3 —
13 " 15	4 " 5	6 " 7	3 15
10 " 12	4 " 5	6 " 7	4 —
8 bis unter 10	5	6 " 7	4 15
6 " " 8	5	7	5 —
5	5 " 5½	7	6 —
4	5½ " 6	7	7 —
3	6½ " 7	7 " 8	9 —
2	7 " 8	7 " 8	12 —
1	8 " 9	7 " 8	20 —

H. E.

Licht. Wo eine Einwirkung auf unſere Sinne ſtattfindet, da iſt Materie vorhanden, ſelbſt wenn die Einwirkung derſelben nur durch einen unſerer Sinne wahrgenommen werden kann. Wenn wir nun mittelſt unſeres Auges von einem entfernten Körper einen Eindruck erhalten, ſo muß etwas Subſtantielles als Vermittler zwiſchen dem Auge und dem entfernten Körper vorhanden ſein. Sollte dies Subſtantielle auch ſonſt für unſere anderen Sinne unwahrnehmbar ſein, wir werden es doch — ſelbſt als etwas Unbekanntes — als thatſächlich vorhanden anzunehmen haben, eben weil wir durch die zwar unbekannte, aber durch die Wirkung zur Thatſache gewordene, Urſache dazu gezwungen werden. Das Subſtantielle, welches wir zwiſchen dem Auge und dem entfernten Körper als Vermittler annehmen müſſen, nennen wir Licht. Wie wir uns aber dieſe Vermittlung eigentlich werden denken müſſen, das verſchieben wir bis an das Ende dieſes Artikels, wo die aufgeſtellten Anſichten die nöthige Berückſichtigung finden ſollen; zunächſt wollen wir uns des Wortes Licht bedienen, als des zu Grunde liegenden Subſtantiellen im Allgemeinen, welches in irgend einer Weiſe gewiſſe Wirkungen hervorbringt.

A. Wirkungen des Lichtes.

Die wichtigſte, eigentlich das Licht charakteriſirende Wirkung iſt die Wirkung auf das Auge, das Sehen. Um ſie genügend zu erklären, müßte man erſt wiſſen, was in Wahrheit das Licht ſei; denn ohne dies kann jede Erklärung des Sehens nur dürftig ſein. Da überdies hierbei die Conſtruction des Auges in Betracht zu ziehen iſt, ſo verweiſen wir auf den Artikel Sehen und bemerken

hier nur, daß die Urſache des Sehens zunächſt eine eigenthümliche Affection des Nerven iſt, welcher ſich im Auge zur Netzhaut ausbreitet. Ohne das Licht würde das Auge nutzlos ſein, und iſt es auch überall, wo das Licht fehlt, d. h. in der Finſterniß. Ferner ſei hier noch bemerkt, daß das Licht durch das Auge uns in Verbindung ſetzt mit Gegenſtänden in einer Entfernung, bei welcher alle übrigen Sinne ſich als nicht ausreichend ergeben. Während der nächſt dem Auge am weiteſten reichende Sinn, das Ohr, nicht einmal für Entfernungen, welche auf der Erde vorkommen, ausreicht, durchdringt das Auge wahrhaft unermeßliche Räume. Das Licht kommt aus Entfernungen zu uns, die wir allenfalls in Zahlen auszudrücken vermögen, von denen wir uns jedoch auf keine Weiſe eine klare Vorſtellung verſchaffen können.

Eine andere Wirkung des Lichtes iſt der Schatten. Wir verweiſen wegen des Näheren auf den beſonderen Art. Schatten und begnügen uns hier mit der Bemerkung, daß Abweſenheit aller Lichtſtrahlen in einem Raume als Finſterniß bezeichnet wird, hingegen die Abweſenheit der Lichtſtrahlen eines beſtimmten leuchtenden Körpers als Schatten. Wo Schatten bemerkt wird, da muß die vom Lichte getroffene Umgebung gleichzeitig beobachtet werden.

Wegen einer ferneren Wirkung des Lichtes, nämlich wegen der Farbe verweiſen wir ebenfalls auf den beſonderen Art. Farbe (Bd. III. S. 40). Wo kein Licht iſt, nehmen wir auch keine Farben wahr; ſie verſchwinden eben ſo wie der Schatten mit dem Lichte. Da indeſſen in dem eben angezogenen Artikel das Licht nur als die Urſache der Farben behandelt werden konnte, ſo betrachten wir hier noch die Wirkung des Lichtes auf die Färbung der Pflanzen und Thiere näher, und überhaupt den Einfluß des Lichtes auf die Organismen *).

Es ſcheint als allgemein gültiger Satz angenommen werden zu müſſen, daß ohne das Licht es keine organiſche Weſen geben könne. Da wo die größte Fülle des Lichtes auf der Erde iſt, ſehen wir die blühendſte Kraft und Geſundheit bei Pflanzen und Thieren, mächtigen Wuchs, die prächtigſten Farben. So ſind Pflanzen und Thiere in den Gegenden zwiſchen den Wendekreiſen am mannichfaltigſten, kräftigſten, größten, bunteſten und nehmen an Farbenfriſche, Stärke und Kraft gegen die Pole hin immer mehr ab **). Ein ähnlicher Unterſchied herrſcht zwiſchen Pflanzen und Thieren, welche im freien Lichte erwachſen, und denen, welche den größten Theil ihres Lebens in engen, lichtarmen Gemächern, Kellern, Kerkern u. ſ. f. zubringen.

Die von der heißen Zone nach den Polen zu abnehmende Anzahl der wildwachſenden Pflanzengattungen hat neben der Verſchiedenheit der Wärme in den verſchiedenen Klimaten ihren Grund ſicher auch in der nach den Polen zu geringer werdenden Einwirkung des Lichtes. Die Pflanzen der nördlichſten Gegenden kommen auch in ſüdlicheren Breiten vor, dort jedoch als unanſehnliche Zwergarten, hier als ſtattliche Individuen. Die ſchönſten Bäume, die herrlichſten Blumen, die üppigſten Sträucher und Gräſer kommen nur in den Tropengegenden

*) Die den Einfluß des Lichtes auf das Keimen, Wachſen und die Farben der Pflanzen betreffende Literatur findet ſich in: Fortſchritte der Phyſik im Jahre 1845. Dargeſtellt von der phyſikaliſchen Geſellſchaft zu Berlin. Berlin 1847. 1. Jahrg. S. 247—251.

**) Vergl. Art. Klima. Bd. IV. S. 280.

vor. Verpflanzen wir sie in unsere lichtärmeren Gegenden, so erkennen wir doch an den Verkrüppelungen, welche sie in unseren Gewächshäusern erfahren, obschon wir ihnen künstlich dieselbe Wärme und einen gleichen Boden, wie in ihrer Heimath, zu geben suchen, daß es eben das Licht ist, unter dessen Einfluß sie ihre natürliche Schönheit und Kraft erhalten. Schon daran erkennen wir den Einfluß des Lichtes auf die Pflanzen, daß die Stubenpflanzen ihre Zweige und Blätter stets dem Fenster zuwenden; noch mehr wird dies durch die Erfahrung bestätigt, daß Pflanzen in Kellern oder überhaupt in dunklen Orten aufbewahrt, ein schwächliches, verblichenes Ansehen erhalten und endlich ganz verkommen. In einem Keller, in welchem man Wurzelwerk den Winter über aufbewahrt hatte und an dem sich nur oben an der einen Seite eine kleine Oeffnung befand, durch welche das Licht hineinscheinen konnte, war beim Ausräumen im Frühlinge in einem entfernten Winkel eine Kartoffel liegen geblieben, welche nun einen Ausläufer trieb, der erst zwanzig Fuß weit auf dem Boden hin und an der Wand in die Höhe fortrankte, bis er endlich das Lichtloch erreichte. Auch der schlanke Wuchs der Bäume in dicht bestandenen Waldungen erklärt sich hieraus und das Absterben der unteren Zweige desgleichen, z. B. bei Buchenwäldern. Nach Gladstone *) findet im Allgemeinen das stärkste Wachsthum nächst im weißen im blauen Lichte statt; die im blauen Lichte erwachsenen Pflanzen waren aber schwächlich, während die im gelben Lichte erwachsenen derb und gesund blieben. Die Versuche waren an Hyacinthen, Weizen, Malven, an viola tricolor und Poa annua angestellt. — Auch auf den Wohlgeruch und den Geschmack der Pflanzen scheint das Licht eben so wohl, wie die Wärme großen Einfluß auszuüben, da in unseren Gewächshäusern bei erhöhter Temperatur zum Wachsen gebrachte Pflanzen weder den Geschmack, noch den Duft der in südlicheren Gegenden freiwachsenden Pflanzen haben. — Von Natur grüne Pflanzen erhalten ihre grüne Färbung erst durch das Licht und zwar um so gesättigter, je freier das Sonnenlicht auf dieselben wirkt. Im Dunklen wachsende Pflanzen werden bleich. Blätter und Blumenblätter färben sich erst dann stärker, wenn sie aus der Knospe hervorgebrochen sind. Das Innere der Kohlköpfe ist bleich und zart, weil das Licht nicht auf die inneren Blätter wirken konnte. Pflanzen, welche ihrer Natur nach nur im Schatten wachsen, sind meist durch den Mangel der grünen Farbe charakterisirt, z. B. Monotropa, Lathraea squamaria, Epipactis Nidus avis, Corallorhiza innata, Limodorum abortivum etc., wiewohl es auch nicht an Ausnahmen fehlt, so daß wir schließen müssen, jede Pflanze bedürfe zu ihrem Gedeihen eine gewisse Intensität des Lichtes. — Der periodische Wechsel in der Richtung der Blätter, eben so das sogenannte Wachen und Schlafen der Pflanzen zeigt eine Abhängigkeit von dem Lichte. Dies hat namentlich de Candolle **) durch einen Versuch recht schlagend bewiesen, indem es ihm durch ein starkes, dem Tageslichte an Helligkeit fast gleichkommendes Lampenlicht gelang, bei einigen Pflanzen die Zeit des Wachens und Schlafens umzukehren.

Auffallend ist auch der Einfluß des Lichtes auf die Thierwelt. Im Allgemeinen sind die Thiere des Nordens bleich, einfarbig, falb oder weiß, und dieselben Arten (z. B. Füchse, Bären, Hirsche, Hasen, Kaninchen ꝛc.) sind im

*) Athenaeum. 1852. p. 981.
**) Physiologie végétale. T. III. p. 1070.

Digitized by Google

Norden weiß oder fahl, während ſie in ſüdlicher gelegenen Gegenden in bunten Farben erſcheinen. Im hohen Norden erhalten ferner z. B. Hermelin, Schneefuchs und Haſe gegen den Winter, unabhängig von der Kälte und nicht durch Mauſer, ſondern durch Ergrauen ſolches Haar wie im Alter *). Daß hiervon der Mangel des Lichtes die Urſache ſei, ſieht man unter Anderen daraus, daß auch die des Lichtes beraubten Eingeweidewürmer, die Bandwürmer, Spulwürmer, Madenwürmer ꝛc. ganz weiß ſind, aber bald ihre Farbe verändern, wenn ſie dem Lichte ausgeſetzt werden. In dunklen Orten gefangen gehaltene Mäuſe erzeugen oft weiße Junge **). Fiſche, welche in großer Tiefe oder im Schlamme leben, Amphibien, welche ſich im Dunklen aufhalten, z. B. Proteus, zeigen nur ſchwache Färbung. Die Stellen des Thierkörpers, welche dem Lichte mehr ausgeſetzt ſind, namentlich der Rücken, zeigen ſich gewöhnlich dunkler. Bei den Schollen iſt die untere Seitenfläche farblos im Gegenſatze zu der oberen. Auch bei den Vögeln beobachtet man dieſen Gegenſatz, ſogar die von anderen bedeckten Federn zeigen ſich weniger gefärbt. Inſecten und Vögel zeigen die lebhafteſten Farben, ſind aber auch als Luftthiere dem Lichte am meiſten ausgeſetzt. Auch auf den Menſchen äußert das Licht ſeinen Einfluß. Bei dem Menſchen entwickelt ſich, wie bei den Thieren, die bleibende Hautfarbe erſt nach der Enthüllung des Embryo. Nach Sömmering ***) iſt beim Neger die äußere Schicht des Malpighiſchen Schleims dunkler als die innere. Die Kopfhaare des Menſchen pflegen dunkler zu ſein, als die Rumpfhaare. Daß die Sommerſproſſen ſich namentlich an den Hautſtellen finden, welche dem Lichte ausgeſetzt ſind, gehört auch hierher; eben ſo daß in heißen Ländern nicht nur die Haut, ſondern auch das Haar des Menſchen dunkler zu ſein pflegt, als in kälteren. Nach Voigt ****) ſind bei den Abeſſiniern und Mauern die ſtets im Innern lebenden Frauen ſo weiß, wie Europäerinnen, während die Männer eine dunkelbraune Farbe haben. Berghaus *****) berichtet von den Polyneſiern, daß die Kinder im Augenblicke ihrer Geburt eben ſo weiß ſind, wie bei uns; daß die Theile des Körpers, welche von den leichten Stoffen des Landes bedeckt ſind, viel weißer bleiben, als die übrigen; daß die Frauen, welche ſich mit Mattenflechten beſchäftigen und dabei im Schatten arbeiten, einen ziemlich hellen Teint haben, während ſich die Fiſcher unter allen durch ihre dunkle Hautfarbe auszeichnen. Doch man vergleiche nur in dieſer Beziehung Stadtbewohner, namentlich Gelehrte und Handwerker, welche den größten Theil ihres Lebens in Zimmern zubringen, mit Landbewohnern. Der des Sonnenlichts beraubte Menſch iſt blaß, ſchießt ſchmächtig auf und hat überhaupt ein krankes Anſehen †).

Die färbende Einwirkung des Lichtes auf organiſche Körper iſt eine chemiſche, aber durch die Lebensthätigkeit bedingt; denn bei todten Thieren und Pflanzen findet gerade das Gegentheil ſtatt, nämlich ein Ausbleichen der Farben

*) v. Froriep's Notizen. Bd. XV. S. 167.

**) Heuſinger, Unterſuchungen über die normale Kohlen- und Pigmentbildung im menſchlichen Körper. 1823. S. 36.

***) Ueber die körperliche Verſchiedenheit des Negers vom Europäer. Frankfurt 1785. S. 46.

****) Die Farben der organiſchen Körper. Jena 1816. S. 13.

*****) Die Völker des Erdballs. Brüſſel und Leipzig 1845. Bd. I. S. 426.

†) Vergl. Burdach, Phyſiologie. Bd. V. S. 353 ff.

im Lichte. Es führt uns dies überhaupt zur Betrachtung der chemiſchen Wirkung des Lichtes; doch wollen wir vorher noch kurz eine ebenfalls unter dem Einfluſſe der Lebensthätigkeit ſtehende andere chemiſche Wirkung des Lichtes berühren, nämlich den Einfluß des Lichtes auf gaſige Secretionen.

Bei den Pflanzen finden wir einen von den Tageszeiten und zwar von dem Vorhandenſein oder Nichtvorhandenſein des Lichtes abhängigen Wechſel in der Ausſcheidung von Gaſen: im Sonnenlichte ſcheiden ſie Sauerſtoff aus und ſchlucken Kohlenſäure ein, im Dunklen umgekehrt. Je lebhafter das Licht einwirkt, alſo im directen Sonnenſcheine, deſto ſtärker iſt die Ausſcheidung von Sauerſtoffgas; außerdem zeigt ſich aber noch nach der verſchiedenen Natur der Pflanzen ein Unterſchied in der Quantität. Nach de Sauſſure ſchlucken die blattwechſelnden Bäume und Sträucher mehr Kohlenſäure ein als die immergrünen und die krautartigen Landpflanzen, dieſe wieder mehr als die Sumpf- und Waſſerpflanzen, am wenigſten aber die Fettpflanzen. Jüngere Blätter ſchlucken mehr ein, als ältere. Von geſtörtem Ausſcheidungsproceſſe rührt jedenfalls das oben angeführte Bleichwerden der im Dunklen gezogenen Pflanzen her, indem dann wegen nicht eintretender Ausſcheidung des Sauerſtoffs die Kohlenſäure des Nahrungsſaftes nicht zerſetzt und der Kohlenſtoff nicht abgeſchieden wird. Grüne Zellenpflanzen verhalten ſich wie die grünen Blätter der Gefäßpflanzen; von den nicht grünen geben die Flechten im Sonnenlichte nicht Sauerſtoffgas, ſondern Kohlenſäure und Stickſtoff von ſich und die Pilze hauchen ſowohl im Sonnenſcheine, als im Dunklen Waſſerſtoffgas und Stickſtoffgas aus. Die phanerogamiſchen nicht grünen Schmarotzerpflanzen (z. B. Monotropa, Lathraea, Orobanche ꝛc.) ſcheiden im Sonnenlichte ebenfalls keinen Sauerſtoff aus, wie denn überhaupt bei ihnen die Ausſcheidung von Gaſen ſehr gering iſt. Die nicht grünen Theile der Gefäßpflanzen, welche mit grünen Blättern oder Stengeln verſehen ſind, alſo die Wurzeln, das Holz, die nicht grüne Rinde, die Blumenblätter, die reifen Früchte, ſcheiden ohne Unterſchied bei Tag und Nacht Kohlenſäure aus, zum Theil — namentlich bei Blumen — gemengt mit Stickſtoffgas und ſchlucken Sauerſtoffgas ein, woraus ſich die Gefahr zu erſticken für Menſchen erklärt, welche ſich in verſchloſſenen Räumen befinden, die dergleichen Pflanzentheile, namentlich Blumen und reife Früchte, in größerer Menge enthalten. Die rothe Spielart der Melde (Atriplex hortensis, Gartenmelde) macht eine Ausnahme, indem die Blätter derſelben im Sonnenlichte auch Sauerſtoffgas ausſcheiden; von der rothen Rübe (Beta vulgaris) und den rothblätterigen Amaranthen gilt wahrſcheinlich daſſelbe. — Nach C. H. Schultz*) hat der Sauerſtoff ſeinen Urſprung in der Pflanzennahrung, indem die grünen Pflanzentheile die Fähigkeit beſitzen ſollen, die meiſten vegetabiliſchen und mineraliſchen Säuren zu zerſetzen, und dieſe Subſtanzen ſollen es gerade ſein, aus welchen im Lichte der Sauerſtoff entwickelt werde, während die Kohlenſäure hiermit nichts zu thun habe. Indeſſen erwecken die Verſuche wenig Vertrauen, während dies die Verſuche Grieſchow's**) eher verdienen, aus welchen entſchieden hervorgeht, daß Pflanzenblätter nur dann im Lichte Sauerſtoff entwickeln, wenn ſich in der Umgebung freie Kohlenſäure befindet. Auch Grieſe-

*) Pogg. Ann. Bd. LXIV. S. 128.
**) Erdmann's und Marchand's Journ. Bd. XXXIV. S. 163.

bach's *) Verſuche ſtehen mit dem Reſultate von Schultz in entſchiedenem Widerſpruche.

Auch auf die Thiere hat das Licht einen ähnlichen Einfluß, wenn auch nicht auf den Athmungsproceß — das Ausſcheiden des Sauerſtoffs bei den Pflanzen iſt überdies eher ein Verdauungs- als Athmungsproceß, — ſo doch auf die Secretionen überhaupt. Es ſei hier nur ein dem Bleichwerden der Pflanzen am meiſten analoger Fall erwähnt, nämlich, daß bei den Thieren im Dunklen Fett erzeugt wird. Bei der Mäſtung der Hausthiere wird von Landleuten hierauf auch mit Recht Rückſicht genommen. Nach v. Humboldt **) iſt der Guacharo, ein körnerfreſſender Nachtvogel Amerikas, ungemein fett, weil er in unterirdiſchen Höhlen im Finſtern lebt. Die europäiſchen Nachtvögel ſind nur wegen des ſpärlichen Ertrages ihrer Jagd mager. Wegen des Ausführlichen verweiſen wir auf Burdach ***) und auf Mulder ****).

Wir wenden uns nun zu den intereſſanten chemiſchen Veränderungen, welche das Licht, namentlich das Sonnenlicht, an ſich — nicht wie in dem Vorhergehenden durch die Lebensthätigkeit bedingt — hervorzubringen im Stande iſt *****).

Die chemiſchen Veränderungen durch das Licht ſind entweder Verbindungen oder Zerſetzungen. Bringt man gleiche Theile Chlorgas und Waſſerſtoffgas in ein farbloſes Glas und verſchließt daſſelbe, ſo bleibt das Gemenge bei gewöhnlicher Temperatur im Dunklen unverändert; ſetzt man aber das Glas dem Tageslichte aus, ſo verbinden ſich beide Stoffe langſam zu Salzſäure und im directen Sonnenlichte tritt die Verbindung ſchnell ein unter Verpuffung. — Setzt man hingegen friſch bereitetes Chlorſilber, indem man z. B. Papier mit der Auflöſung tränkt, dem Sonnenlichte aus, ſo wird daſſelbe geſchwärzt, indem es anfangs bläulichgrau wird und dann durch Braun, Bräunlichblau, Roth in Röthlichbraun übergeht; im Dunklen aufbewahrt zeigt das Chlorſilber dieſe Veränderung nicht. Da nach Fiſcher hierbei ein Antheil Silber ſeines Chlors beraubt wird, der nun mit dem übrigen Chlorſilber eine Verbindung mit Ueberſchuß von Silber eingeht, ſo haben wir im vorliegenden Falle eine durch das Licht veranlaßte chemiſche Zerſetzung, während vorher eine chemiſche Verbindung bewirkt wurde.

Die vorher angeführte Verbindung von Chlorgas und Waſſerſtoffgas erfolgt auch im blauen Glaſe, aber in rothem geht dieſelbe gar nicht, oder nur langſam vor ſich. Bei ſtark ſcheinender Sonne erfolgt die Verpuffung, wie es G. Biſchoff †) beobachtete, im Freien ſchon im Schatten; auch wirkt jedes dem Sonnenlichte an Lebhaftigkeit nahe kommendes Licht in gleicher Weiſe. Polariſirtes Licht wirkt wie nicht polariſirtes. Stellt man den Verſuch mit Chlorgas und Waſſerſtoffgas in den einzelnen Farben des durch ein Prisma erhaltenen

*) Pogg. Ann. Bd. LXIV. S. 630.

**) Reiſe in die Aequatorialgegenden ꝛc. Stuttgart 1815 — 1819. Bd. II. S. 110.

***) Phyſiologie. Bd. V. S. 353 ff.

****) Verſuch einer allgemeinen phyſiologiſchen Chemie. Deutſche Ausg. Braunſchweig 1844 — 1851. Bd. II. S. 839 — 856.

*****) Die Literatur über die Wirkung der chemiſchen Lichtſtrahlen bis 1815 findet ſich am vollſtändigſten in: die Fortſchritte der Phyſik im J. 1845. 1. Jahrg. S. 228 — 274.

†) Kaſtner's Archiv. Bd. I. S. 443.

Spectrums an, ſo tritt die Verpuffung um ſo leichter ein, je näher die Strahlen dem violetten Ende liegen, ja ſelbſt noch jenſeits des ſichtbaren violetten Randes wird die Verbindung zu Stande gebracht, ſo daß da noch unſichtbare, aber wirkſame Strahlen vorhanden ſein müſſen. Je näher dem rothen Ende des Spectrums die Strahlen gewählt werden, deſto ſchwächer wird die Wirkung.

Eben dies zeigt ſich bei der Einwirkung auf Chlorſilber. — Man löſt ſalpeterſaures Silberoxyd auf, tränkt damit Papier, trocknet daſſelbe und taucht es dann in eine Kochſalzlöſung. Hierbei überzieht ſich das Papier mit weißem Chlorſilber, und deshalb hebt man daſſelbe im Dunklen auf, bis man den Verſuch anſtellen will. — Die violetten Strahlen wirken ſehr ſtark ſchwärzend, der äußerſte Rand des violetten Endes am ſtärkſten. Vom Violett gegen Roth hin nimmt die ſchwärzende Wirkung immermehr ab. Nach Seebeck *) wird mit Chlorſilber getränktes Papier im violetten Strahle und darüber hinaus röthlich braun, im blauen blau oder blaugrau, im gelben ſehr ſchwach gelb, im rothen röthlich und unter dem rothen ſchwach röthlich, und zwar fällt bei Flintglasprismen, bei welchen die größte erwärmende Kraft ſich außerhalb des rothen Strahles zeigt, auch die Röthung ganz außerhalb deſſelben. Concentrirt man das Spectrum von Grün bis Roth durch eine Linſe, ſo erhält man einen blendenden Brennpunkt, der nach Berard **) das Chlorſilber ſelbſt nach zwei Stunden nicht ſchwärzt. In dem Roth, welches man durch das Zuſammenfallen von Violett und Roth zweier verſchiedenen Prismen erhält, färbt ſich das Chlorſilber nach Seebeck ſchön karmoiſinroth, und am Tageslichte grau gewordenes wird im rothen Strahle nach längerer Zeit blaſſer und röthlicher. Auf dieſelbe Weiſe verhält ſich das durch verſchieden gefärbte Gläſer fallende Licht. Unter violetten, blauen und blaugrünen Gläſern wird das Chlorſilber nach Seebeck geſchwärzt, und zwar zeigt die Schwärzung unter violetten Gläſern eine mehr röthliche, unter blauen eine mehr bläuliche Beimiſchung; unter gelbgrünen und gelben Gläſern bleibt es faſt unverändert; unter gelbrothen wird es nach längerer Zeit ſchwach röthlich, und das durch farbloſes Licht geſchwärzte Chlorſilber färbt ſich unter gelbrothem Glaſe bald heller und ſchmutziggelb oder röthlich.

In neuerer Zeit iſt dieſe Einwirkung des Lichtes auf Chlor-, Jod- ꝛc. Silber beſonders ſtudirt und wichtig geworden durch die Daguerreotypie, und deshalb verweiſen wir wegen des Näheren auf den Art. Photographie.

Chlorgas und Kohlenoxydgas vereinigen ſich auf ähnliche Weiſe, wie Chlorgas und Waſſerſtoffgas, unter Einwirkung des Lichtes und liefern Phosgengas. — Sättigt man Waſſer mit Chlor und ſetzt es ſodann dem Lichte aus, ſo verbindet ſich das Chlor allmälig mit dem Waſſerſtoffe des Waſſers zu Salzſäure und es wird Sauerſtoffgas frei. Draper hat die hier zur Geltung kommenden Verhältniſſe beſonders eifrig ſtudirt ***) und iſt zu folgenden Reſultaten gelangt: 1) Eine Auflöſung von Chlor in Waſſer wird im Dunklen nicht zerſetzt; 2) ſie erleidet im Lichte eine Zerſetzung; 3) die Schnelligkeit der Zerſetzung hängt von der Quantität der Lichtſtrahlen und von der Temperatur ab; 4) die einmal im

*) Schweigger's Journ. Bd. XL. S. 146
**) Gilbert's Ann. Bd. XLVI. S. 376.
***) Erdmann's und Marchand's Journ. Bd. XXXVII. S. 103. nach Phil. magaz. T. XXVII. p. 327.

Lichte eingeleitete Zerſetzung geht im Dunklen weiter fort, wenn auch mit abnehmender Stärke; 5) dieſe im Dunklen fortgeſetzte Gasentwickelung iſt nicht ein Rückſtand des Sauerſtoffes, der erzeugt wurde, während die Löſung dem Lichte ausgeſetzt war, ſondern rührt von der fortdauernden Einwirkung des Chlors her und entſpringt aus den Eigenſchaften, welche dieſes im Lichte erlangt hat; 6) die Urſache der Gasentwickelung iſt nicht in einer Wirkung von der Art der Gährung zu ſuchen, ſo daß etwa dem Chlor von Partikel zu Partikel die Wirkſamkeit mitgetheilt würde, ſondern nur das urſprünglich vom Lichte getroffene Chlor beſitzt ſie; 7) die Quantität des ſo im Dunklen entſtehenden Gaſes hängt von der Intenſität des Lichtes und von der Zeit ab, während welcher das Chlor dem Lichte ausgeſetzt wurde; 8) wenn im Dunklen aus dem Chlorwaſſer die Quantität Sauerſtoff entwickelt iſt, welche der Dauer der Ausſetzung deſſelben an das Licht entſpricht, ſo kann durch eine wiederholte Lichteinwirkung dem Chlor die zerſetzende Eigenſchaft wieder ertheilt werden, ſo lange ſich noch Chlor in der Flüſſigkeit befindet; 9) die Zerſetzung wird nicht durch die Erhöhung der Temperatur der Flüſſigkeit in der Sonne hervorgebracht, die Wärme beſchleunigt zwar, aber leitet die Wirkung nicht ein; 10) wenn Chlorwaſſer dem Lichte ausgeſetzt war, ſo kann man den Sauerſtoff in ihm leicht durch Erhöhung der Temperatur austreiben; 11) die Zerſetzung im Lichte beginnt nicht augenblicklich, ſondern es iſt eine gewiſſe Zeit erforderlich, damit das Chlor die ſpecifiſche Veränderung erleide, durch welche es zerſetzend wirken kann. Draper unterſcheidet deshalb einen activen und einen paſſiven Zuſtand des Chlors. — Iſt Chlor mit Kohlenwaſſerſtoffgas und Waſſer in Berührung, ſo findet nur im Lichte Zerſetzung ſtatt, und zwar bildet ſich, indem der Waſſerſtoff des Waſſers und des Kohlenwaſſerſtoffs mit dem Chlor, und der Kohlenſtoff des Kohlenwaſſerſtoffes mit dem Sauerſtoffe des Waſſers eine Verbindung eingeht, Salzſäure und Kohlenſäure. — Wenn man eine Auflöſung von Stärkemehl in kochendem Waſſer mit Jod blau gefärbt hat und ſie ſodann dem Sonnenlichte ausſetzt, ſo verliert ſie ihre Farbe, indem das Licht das Jod veranlaßt durch Aufnahme von Waſſerſtoff aus dem Stärkemehle in Hydriodſäure ſich zu verwandeln. — Die meiſten vegetabiliſchen Farben werden durch das Licht gebleicht und zerſtört, wie wir an unſeren gefärbten Zeugen täglich wahrnehmen; die organiſchen Farbenpigmente nehmen nämlich unter dem Einfluſſe des Lichtes, da ſie vorzugsweiſe aus Waſſerſtoff und Kohlenſtoff beſtehen, aus der Atmoſphäre Sauerſtoff auf, oxydiren ſich alſo und verändern hierbei ihre Farbe oder büßen ſie ganz ein. Wenn man z. B. aus Kirſch- und Fliederblättern mittelſt Spiritus eine grüne Tinctur bereitet, ſo verliert dieſe ſchon innerhalb 20 Minuten im Sonnenlichte ihre Farbe, während ſie dieſelbe im Dunklen lange behält. Auf ähnliche Weiſe, nur langſamer, werden alle mit Safflor, Blauholz, Braſilienholz, Curcuma oder Wau gefärbte Zeuge im Sonnenlichte entfärbt, wobei ſie zugleich morſch werden. — Im Gegenſatze hierzu werden mehrere Pflanzenſubſtanzen anſtatt entfärbt, vielmehr anders gefärbt, z. B. Pulver von Guajakharz oder mit der Auflöſung deſſelben im Weingeiſt befeuchtetes Papier wird durch farbloſes oder durch blaues Licht grün gefärbt, nicht aber durch rothes, welches vielmehr die grüne Farbe wieder in gelb verwandelt. Eben ſo wird die urſprünglich gelblich rothe Aloetinctur hinter violetten und blauen Gläſern dem Lichte ausgeſetzt nach kurzer Zeit dunkel blutroth, während rothe Strahlen keine Veränderung hervorbringen. — Verſchiedene Salze, deren Baſen ihren Sauerſtoff ver-

häftnißmäßig leicht abtreten, werden öfters, wenn ſie durch organiſche Subſtanzen, z. B. durch Aether, gelöſt ſind, unter dem Einfluſſe des Sonnenlichtes desoxydirt, was ſich bisweilen durch Farbenänderungen kund giebt. So wird die weingeiſtige Löſung des rothen ſchwefelblauſauren Eiſenoxyds entfärbt. Hierher gehören auch die Löſungen des ſalzſauren Goldes und Platins in Aether. Das gelbe ſalzſaure Uranoxyd im Aether gelöſt wird durch Licht dunkelgrün und zu ſalzſaurem Uranoxydul desoxydirt. Eine Auflöſung von oxalſaurem Eiſenoxyd läßt im Sonnenlichte unter Entbindung von Kohlenſäure oxalſaures Eiſenoxydul fallen; oxalſaures Silberoxyd zerfällt unter Waſſer im Sonnenlichte partiell in metalliſches Silber unter Entbindung von Kohlenſäure. Iridiumſalmiak erleidet ebenfalls unter Mitwirkung von Oxalſäure Veränderungen im Lichte. — Salze, welche Kryſtallwaſſer enthalten, verlieren daſſelbe in der Sonne ſchneller hinter blauem, als hinter rothem Glaſe *). — Reine concentrirte Salpeterſäure zerſetzt ſich im Lichte in Sauerſtoffgas und ſalpetrige Säure und färbt ſich gelb oder roth. Hinter gelbrothem Glaſe tritt dies nicht ein, wohl aber hinter weißem und blauem. — Ueber die Wirkung des Lichtes auf Phosphor iſt der Art. Phosphor nachzuſehen.

Die chemiſchen Wirkungen des Lichtes treten nach Gay-Luſſac und Thénard **) auch im Dunklen ein bei einer Temperatur von 160 bis 200° C. Man könnte hierdurch veranlaßt werden, die chemiſche Wirkung des Lichtes in einer durch daſſelbe veranlaßten Temperaturerhöhung zu ſuchen; doch kann dies nicht ſein, da die erforderliche Temperatur zu hoch iſt und dann jedenfalls die rothen Strahlen, welche das größte Wärmevermögen haben, auch chemiſch am wirkſamſten ſein müßten, was doch entſchieden nicht der Fall iſt. In neuerer Zeit hat Draper ***) die Abſorption der Lichtſtrahlen als die Urſache der chemiſchen Wirkung nachzuweiſen verſucht und dafür folgende Geſetze aufgeſtellt:

1) Wenn ein Strahl auf eine empfindliche Oberfläche fällt, oder durch ein Medium hindurch geht, welches durch den Strahl verändert wird, ſo wird entſprechend dem chemiſchen Effecte die Natur des Strahles zerſtört. Eine Veränderung in der Zuſammenſetzung des Mediums iſt mit einer Veränderung des Strahles verknüpft, der Strahl verliert ſeine chemiſchen Eigenſchaften in dem Maße, als er das Medium verändert hat.
2) Strahlen, welche durch Abſorption verſchwinden, werden dazu aufgewendet, die Natur der ponderablen Materie zu ändern.
3) Strahlen, welche ihre chemiſche Wirkſamkeit für ein gewiſſes Medium verloren haben, gehen hindurch oder werden reflectirt.

Um die Intenſität und Quantität der chemiſchen Lichtſtrahlen zu beſtimmen, hat man verſchiedene Methoden und Apparate angegeben. Das Nähere hierüber enthält der Art. Photographie; hier ſei nur noch bemerkt, daß die hierzu beſtimmten Apparate theilweiſe Aktinometer genannt werden, und daß bereits in dem beſonderen Artikel Aktinometer Bd. I. S. 132 das elektrochemiſche Aktinometer von E. Becquerel beſchrieben iſt.

*) Vogel in Gilbert's Ann. Bd. XLVIII. S. 373.
**) Schweigger's Journ. Bd. V. S. 219.
***) Zuerſt 1841 in Phil. magaz. T. XIX. p. 195; dann T. XXVII. p. 327 u. p. 435.

Draper *) hat ein Instrument unter dem Namen Tithonometer angegeben, weil er die chemischen Strahlen tithonische zu nennen beliebt.

Mehrfach ist auch eine magnetische Wirkung des Lichtes behauptet worden; namentlich sollte das violette Licht eine magnetisirende Eigenschaft besitzen. Morichini **) trat 1812 zuerst mit dahin zielenden Experimenten auf; eine Dame, Mrs. Sommerville ***) wollte 1826 dasselbe Resultat erhalten haben; auch Christie ****) und Baumgartner *****) hielten die Thatsache für erwiesen, nicht minder Zantedeschi †) und Barlocci ††); allein P. Rieß und L. Moser †††) haben durch sorgfältige Versuche den Beweis geführt, daß namentlich Morichini's und Baumgartner's Magnetisirungsart gänzlich unwirksam ist und die Arbeit von Zantedeschi an großen Mängeln leidet. Eben so ergab das polarisirte Licht, welches sie der Untersuchung unterwarfen, keine Wirkung ††††). Vergl. auch d. Art. Magnetismus.

B. Quellen des Lichtes.

Die mächtigste Lichtquelle ist die Sonne. Da wir mit dem Verbrennungsprocesse eine starke Lichtentwickelung so häufig verbunden sehen, so liegt es nahe, auch bei der Sonne an einen Verbrennungsproceß zu denken. Hier hat man zwar den Einwand gemacht, daß dann eine Abnahme, ja eine Zerstörung der Sonne die Folge sein müßte, aber doch keine Abnahme des Sonnendurchmessers beobachtet sei; indessen um das letztere zu behaupten, reichen unsere Beobachtungen nicht weit genug zurück, da erst seit der Mitte des siebzehnten Jahrhunderts, nämlich nach der Erfindung der Fernröhre oder eigentlich seit der Anbringung der Mikrometer an diesen Instrumenten, genauere Messungen haben angestellt werden können. Ungeachtet der Verbesserungen, welche die Instrumente erfahren haben, herrscht heute doch noch über den Sonnendurchmesser eine Ungewißheit im Betrage einer Secunde, d. h. von etwa 100 geographischen Meilen; es läßt sich also über die Abnahme des Sonnendurchmessers bis jetzt noch nichts Zuverläßiges feststellen, und somit wäre in dieser Hinsicht ein Verbrennungsproceß auf der Sonne als Ursache der Lichtentwickelung gerade nicht unmöglich. — Andererseits hat man die Vermuthung ausgesprochen, daß der Sonnenkörper nicht brenne, sondern glühe; indessen seit der Entdeckung der Polarisation des Lichtes ist diese Ansicht ganz unhaltbar geworden, da das Licht beim Glühen fester Körper sich immer als zum Theil polarisirt zeigt, was beim Sonnenlichte nicht der Fall ist. Deshalb ist man auf den Gedanken gekommen, das Sonnenlicht möge Licht glühender Gasarten sein, da dieselben ebenfalls keine Polarisation bemerken lassen, und dies liegt

---

*) Phil. magaz. T. XXIII. p. 401; Instit. No. 508. p. 320; No. 510. p. 342; Silliman's americ. Journ. T. XLVII. p. 217.

**) Gilbert's Ann. Bd. XLIII. S. 212; Kastner's Arch. Bd. VIII. S. 105.

***) Ann. de chim. T. XXXIII. p. 393; Poggend. Ann. Bd. VI. S. 493.

****) Baumgartner's und Ettinghausen's Zeitschr. Bd. III. S. 100.

*****) Baumgartner's und Ettinghausen's Zeitschr. Bd. I. S. 263.

†) Pogg. Ann. Bd. XVI. S. 187; Bibl. univ. T. XLI. p. 64.

††) Schweigger's Journ. Bd. LVIII. S. 73.

†††) Pogg. Ann. Bd. XVI. S. 503.

††††) Die betreffende Literatur in: Fortschritte der Physik. 1. Jahrg. S. 241.

auch der Hypotheſe Herſchel's des älteren zu Grunde, nach welcher — mit Rückſicht auf die Sonnenflecken — die Sonne ein an ſich dunkler Körper iſt, welcher von einer dreifachen Kugelſchale umgeben wird. Die äußerſte Hülle iſt nach ihm eine Photoſphäre (ein Lichtmeer), unter dieſer liegt eine äußerſt elaſtiſche und undurchſichtige zweite Hülle und unter dieſer eine den Sonnenkern unmittelbar umſchließende dritte wolkenartige, dunkle. — Da hier nicht die Stelle iſt, dies Gebiet der Hypotheſen noch weiter zu verfolgen, ſo verweiſen wir wegen des Ausführlicheren auf den Art. Sonne, und fügen hier nur noch einige Notizen bei über die Intenſität des Sonnenlichtes.

Nach Bouguer iſt das Licht der Sonne gleich dem von 11664 Wachslichtern in 16 Par. Zoll Entfernung; nach Wollaſton *) gleich dem von 5563 Kerzen in der Entfernung von einem engl. Fuße. Beide Reſultate weichen nicht ſehr von einander ab, denn das erſtere giebt, reducirt auf die Entfernung von ebenfalls einem engl. Fuße, 5774 Wachslichter.

Eine fernere Lichtquelle iſt für uns der Mond. Ueber die Lichtphaſen des Mondes, über das eigene und reflectirte Licht deſſelben ſ. Art. Mond. Die Intenſität des Lichtes des Vollmondes iſt nach Bouguer 250000 bis 300000 Mal ſchwächer als die des Sonnenlichtes; nach John Michell 450000 Mal; Euler berechnet noch achtmal weniger; Wollaſton, deſſen Reſultat wohl das zuverläſſigſte iſt, findet, daß das Licht des Vollmondes gleich iſt dem $^1/_{144}$ Theile des Lichtes einer Kerze, welche ſich in der Entfernung von einem Fuße befindet, und daß daher das Mondlicht 144 . 5563 = 801072 Mal ſchwächer iſt, als das Sonnenlicht. Leslie's Angabe = 150000 weicht hiervon ſehr ab.

Das Licht der Planeten und Fixſterne trägt wenig zur Erleuchtung der Erde bei. Ueber die Intenſität des Fixſternlichtes vergl. Art. Fixſterne Bd. III. S. 218 — 220.

Sehr häufig tritt Licht bei chemiſchen Proceſſen auf; wir verweiſen hierüber auf die Artikel: Feuer (Bd. III. S. 141), Flamme (Bd. III. S. 236) und Verbrennung.

Ueber die Lichterſcheinungen, welche beim Kryſtalliſiren vorkommen, iſt im Art. Elektricität (Bd. II. S. 755) die Rede geweſen, da dieſe Erſcheinungen höchſt wahrſcheinlich elektriſchen Urſprungs ſind.

Wegen der Elektricität als Lichtquelle ſind die Artikel: Elektricität (Bd. II. S. 718, 739, 749), Funke, elektriſcher (Bd. III. S. 291) und Galvanismus (Bd. III. S. 319) nachzuſehen.

Von beſonderer Art iſt das von mechaniſchen Einwirkungen erzeugte Licht, welches ſowohl bei heftigem und plötzlichem Aneinanderbringen verſchiedener Körper derſelben oder verſchiedener Art, als auch bei ſchneller Trennung der Körpertheilchen eines und deſſelben Körpers, alſo beim Schlagen, Stoßen, Reiben, Streichen, Zerbrechen, Zerſtoßen, Zerſprengen ꝛc. auftritt.

Durch Reiben gleichartiger Stücke deſſelben Foſſils (mit Ausnahme der weichen Kalkerden) wird nach Placidus Heinrich **) ſtets eine Lichterſcheinung

*) Phil. Transact. 1829. T. I. p. 19. Pogg. Ann. Bd. XVI. S. 328.

**) Die Phosphorescenz der Körper, oder die im Dunklen bemerkbaren Lichtphänomene der anorganiſchen Natur. Fünf Abtheilungen. Nürnberg 1811. 1812. 1815. 1820.

im Dunklen hervorgerufen. Beſonders das Kieſelgeſchlecht zeichnet ſich durch Lichtentwickelung bei der Reibung gleichnamiger Foſſilien an einander aus; wahrſcheinlich giebt es nicht ein echt kieſelartiges Foſſil, welches nicht die angegebene Eigenſchaft beſitzt und zwar in vielen Fällen ſchon bei ſchwachem Drucke. Auch das Thongeſchlecht hat die angegebene Eigenſchaft im hohen Grade, namentlich Feldſpath. Foſſilien dieſes Geſchlechtes, welche im natürlichen Zuſtande nicht leuchten, erhalten dieſe Eigenſchaft durch das Brennen, Erhärten im Glühofen, z. B. die reine Thon- oder Porzellanerde; im Kalkgeſchlecht zeichnen ſich Pharmacolith und Flußſpath aus. Die Leuchtfähigkeit der Marmorarten ſcheint nicht ſowohl von ihrer Härte, als vielmehr von ihrem mehr oder weniger kryſtalliniſchen Gefüge abzuhängen. Kein Foſſil des Talkgeſchlechtes wird leuchtend und eben ſo wird kein reguliniſches Metall, mit demſelben Metall gerieben, leuchten, außer wenn die durch Reiben erzeugte Wärme bis zur Glühhitze ſteigt. Bei den meiſten Foſſilien erfolgt das Leuchten ſchon, wenn die durch die Reibung erzeugte Wärme noch kaum fühlbar iſt. Daß dieſes Leuchten übrigens nicht unmittelbar die Folge eines elektriſchen Zuſtandes iſt, ſieht man daraus, daß gerade diejenigen Körper, welche durch Reiben am ſtärkſten elektriſch werden (Stangenſchwefel, Harze, Bernſtein, Steinkohlen) durch Reiben mit ihres Gleichen nicht leuchtend werden. Wenn zwei Glasröhren an einander gerieben werden, ſo iſt die Lichterſcheinung ſehr bedeutend, aber am Elektrometer iſt nur eine geringe Elektricität bemerkbar. Setzt man bei länger fortgeſetztem Reiben zugleich eine dieſer Röhren mit einer kleinen Leidner Flaſche in Verbindung, ſo erhält man zwar zuletzt einen ſchwachen Funken durch Entladung; jedoch ſteht dieſer mit der durch Reiben erzeugten Lichtmenge in gar keinem Verhältniß. Sehr gut leuchtet Melis- und Kandiszucker, polniſches Steinſalz nur ſchwach; die gewöhnlichen Salzſteine aus Salzburg, gemeiner und cypriſcher Vitriol, Salpeter, Salmiak, Alaun und dergleichen leuchteten nur dann, wenn ſie vorläufig auf dem Ofen getrocknet und etwas erwärmt gerieben wurden. Sind die Subſtanzen ganz gleichartig, ſo iſt das Licht deſto ſtärker, je ſpröder ſie ſind, je rauher ihre Oberflächen ſind, je ſtärker der Druck iſt und je geſchwinder das Hin- und Herfahren bei der Reibung geſchieht. Hiervon kann man ſich am beſten durch Verſuche am Quarz und Bergkryſtall überzeugen. Bei den Foſſilien, welche am ſtärkſten leuchten, tritt dieſes Leuchten, wie es ſcheint, bei jeder Temperatur auf, bei den weniger leuchtenden Körpern dagegen, wie bei Flußſpath und Marmor, bemerkt man eine Abhängigkeit der durch Reiben erzeugten Lichtſtärke von der anfänglichen Temperatur dieſer Foſſilien. Das umgebende Mittel, in welchem die Verſuche vorgenommen werden, ſcheint ohne Einfluß auf das Reſultat derſelben zu ſein. Hawksbee machte viele dieſer Verſuche in möglichſt verdünnter Luft, Wedgewood und Davy auch in unathembaren Gasarten, Heinrich unter Waſſer und Oel. Ueberall erfolgte Licht. Das durch mäßiges Reiben gleichartiger Subſtanzen erregte Licht beſchränkt ſich auf die Zeit der Friction und auf die Berührungsflächen, oder es iſt momentan und local. Reine Kieſel- und Quarzſtücke werden durch lebhaftes Reiben ganz durchſichtig und verbreiten ſo viel Licht, daß man die Gegenſtände in der Nähe deutlich unterſcheiden kann. Schlägt

---

Pogg. Ann. Bd. XLIX. S. 344. Schweigger's Journ. Bd. IV. S. 218; Bd. XXIX. S. 101 u. 450. Journ. de ph. T. LXXIV. p. 158, 307. — Hier zunächſt die 4. Abtheilung.

man ſie gegen einander, damit kleine Bruchſtücke abſpringen, ſo bildet ſich ein Lichtſtreifen von mehreren Zollen, gleich einem elektriſchen Lichtbüſchel. Ueber die Farbe des bei dieſen Verſuchen erſcheinenden Lichtes iſt es unmöglich, etwas Beſtimmtes anzugeben, indem ſie nicht nur von der Natur und Farbe der geriebenen Subſtanz, ſondern auch von der Stärke des Druckes beim Reiben, der Einrichtung des Auges und vielen anderen Nebenumſtänden abhängt. Nur Folgendes wird man größtentheils beſtätigt finden: eine ſchwache Reibung giebt nur einen matt weißen Schimmer, dieſer wächſt mit dem Druck und kann beim Bergkryſtalle bis zum blendenden, ins Goldgelbe ſpielenden Glanze übergehen. Bei weißem Glaſe wird er feuerroth. Das Frictionslicht wird durch das Prisma zerlegt. Dieſe Farbenzerlegung nimmt ſich beim Bergkryſtall, Roſenquarz und anderen hellleuchtenden Foſſilien ſehr gut aus; bei ſchwach leuchtenden Steinen hingegen iſt ſie kaum bemerkbar.

Werden Metalle und Körper, welche nicht zerbrechen, einem plötzlichen Drucke ausgeſetzt, ſo wird kein Licht, wohl aber ein geringer Grad von Wärme erregt. Dagegen leuchten pulverförmige Körper, wenn man ſie z. B. auf einem Ambos mit dem Hammer ſchlägt oder in einer Röhre feſt eingedrückt durch einen plötzlichen Stoß trifft. Heinrich machte hierbei die Bemerkung, daß auf dieſe Weiſe durch den Stoß diejenigen Körper am meiſten leuchteten, welche durch Erwärmung am beſten phosphoreſcirend wurden (ſ. d. Folg.), ſo wie auch das Leuchten am längſten bei denjenigen Körpern anhielt, die auch dann am längſten leuchteten, wenn ſie durch Erwärmung leuchtend gemacht worden waren.

Auch über das Auftreten von Lichterſcheinungen beim Bruch, wobei keine merkliche Reibung ſtattfand, hat Heinrich Verſuche angeſtellt; Holz und Stricke, ſo wie Metalldrähte und Knochen gaben weder beim Zerreißen noch beim Zerbrechen Licht, wogegen ſolches auftrat beim Zerbrechen und Zerſchlagen harter und ſpröder Foſſilien, namentlich kryſtalliniſcher *).

Marmor und Kalkſtein leuchteten nicht; Flußſpath leuchtete nur dann, wenn er hart und von ſpathartigem Gefüge war; Schwerſpath leuchtete nicht; Feldſpath leuchtete, und ruſſiſches Frauenglas zeigte beim Zerſpalten der Blätter zuweilen Funken von mehr als $^1/_{10}$ Zoll Länge, die von einem Blatte zum anderen überſprangen. Bergkryſtall giebt ſchönes Licht, vorzüglich beim Zerſchlagen mit einem hölzernen Hammer auf der Hand; Glasröhren leuchteten nicht beim Zerbrechen, wohl aber beim Zerſchlagen; die Bologneſer Fläſchchen leuchteten nur zuweilen beim Zerſpringen. Schwefel und Siegellack geben beim Zerbrechen kein Licht. Unter den Salzen zeichnete ſich das ſchwefelſaure Kali durch gutes Leuchten aus. Recht harter weißer Zucker und Kandiszucker leuchten beim Brechen.

Eine Reihe von Verſuchen hat Heinrich endlich über die Lichterſcheinungen bei der Reibung fremdartiger Körper an einander aufgeſtellt.

Ein Sandſtein, der als Schleifſtein zum Drehen eingerichtet war, ward ſo ſchnell gedreht, daß jeder Punkt des Umfangs 6 bis 7 Fuß Geſchwindigkeit in

*) Auffallend iſt eine von Bauernfeind (Kaſtner's Arch. Bd. XVII. S. 370) gemachte Beobachtung, daß einige Maſſen Schöpſen- und Rindertalg, als ſie, um zerlaſſen zu werden, in tiefer Abenddämmerung aus ihren Holzbehältern herausgebrochen und zerſchlagen wurden, dabei wenigſtens eben ſo ſtark leuchteten wie feſter Hutzucker beim Zerſchlagen.

der Secunde hatte, und nun die anderen Körper daran gehalten. Hier wurden selbst sehr leicht zerreibliche Kalksteine, Alabaster, Meerschaum, Knochen, Zähne, Elfenbein mehr oder minder gut leuchtend, obgleich sie beim Reiben an einem gleichartigen Körper kein Licht gezeigt hatten. Als ausgezeichnet schön leuchtend führt Heinrich folgende an: Rosenquarz, Bergkrystall, Onyx, Chalcedon; mit rothem Lichte vorzüglich schön: Carniol, böhmische Granaten, weißes Glas; hellleuchtend wie eine Flamme die Zähne des Nilpferdes; Perlmutter leuchtete unter allen Conchylien am schönsten. Metalle und ganz vorzüglich Eisen, gaben hier, ohne bis zum Glühen erhitzt zu sein, Licht, aber Steinkohlen leuchteten nicht, Holz nicht, Bernstein sehr schwach. In den meisten Fällen zeigte sich dicht an der Oberfläche des Schleifsteins eine leuchtende Wolke und um den Umfang ein leuchtender Bogen, der nicht so hell als jene war; beide entstehen aus den abgeriebenen Theilchen. Daß hier so viele Körper leuchtend wurden, die bei schwächerem Reiben kein Licht geben, schreibt Heinrich der hier immer eintretenden Erwärmung zu, die allerdings nicht ohne Einfluß bleiben kann. Die Farbe des Lichtes war hier meistens feuerroth, statt daß sie beim schwachen Reiben oft nur weißlich ist. Wie groß hier die Erhitzung werden kann, zeigen vorzüglich Versuche an großen Schleifmühlen, wo ein 4 Linien dicker Nagel in $^1/_4$ Minute weißglühend wurde, Glas zum Glühen und Schmelzen an der Berührungsstelle kam ꝛc.

Andere Versuche Heinrich's und Dessaignes *) bezogen sich auf Feilen, auf Streichen mit einer Radirnadel, mit einem zugespitzten Federkiel, einer Bürste, beim Ritzen mit Diamant oder Bergkrystall ꝛc. Dessaignes fand, daß manche Diamanten, aber sonst kein Stein durch Streichen mit einer Bürste oder Reiben mit Wolle leuchtend wurden. Derselbe hat noch mehrere interessante Bemerkungen über Diamanten gemacht: daß die Diamanten, welche dem Licht ausgesetzt nicht leuchtend werden, auch durch Reiben nicht leuchtend wurden, oder allenfalls nur einen kurzen Lichtblitz gaben; daß zwei Diamanten, die durch Bestrahlung (s. d. Folgende) beide nicht leuchtend wurden, nicht blos durch Aneinanderschlagen leuchteten, sondern nach dieser Zeit auch durch alle andere Erregungen und sogar durch Bestrahlung leuchtend wurden; daß ein anderer gut polirter Diamant mit einer Feile geschlagen erst am 3. Tage schwache Lichterscheinungen und späterhin immer stärkere Lichterscheinungen gab, und daß dieser von nun an bei Schlägen von Holz und anderen harten nicht polirten Körpern Licht gab, ja auch bei der Bestrahlung leuchtend wurde, welches vorher nicht der Fall gewesen war. Hier schien die durch das Schlagen bewirkte Abnutzung der Kanten die Ursache der Veränderung zu sein. Ueber die mannichfache Verschiedenheit des Lichtes hat Dessaignes Nachrichten gegeben. Wenn das Licht als Folge eines einfachen Stoßes hervorgeht, so ist es ein einzelner Blitz, der aus dem geschlagenen Punkte hervorbricht; beim starken Reiben ist es ein leuchtender Streifen, der sich weiter verbreitet, als die entstandene Furche ist. Immer wird nur die getroffene Oberfläche leuchtend und der Anschein, als ob einige durchsichtige Körper ganz leuchtend würden, ist nur Folge des lebhaften Glanzes. Das Licht scheint nicht wie beim Glühen, an dem leuchtenden Körper zu haften, sondern sich von

*) Journ. de Ph. T. LXVI. p. 67; T. LXVIII. p. 444; T. LXIX. p. 5; T. LXX. p. 109; T. LXXI. p. 353; T. LXXIII. p. 41; T. LXXIV. p. 101 u. 173.

dem leuchtenden Körper aus zu verbreiten. Die Farbe dieſes Leuchtens iſt ungleich, blau bei dem Hyalith, gelb bei dem Milchquarz, blutroth oder purpurroth bei dem Dolomit und Grammatit, etwas grünlich bei dem kohlenſauren Strontian; alle dieſe Farben ſind durch das Prisma zerlegbar. Bei einigen Körpern geht bei ſtärkerem Reiben das Licht aus dem Bläulichen in das Gelbliche über; Quarze, Chalcedone und Kieſelſteine geben gelbes Licht, enthalten ſie aber Eiſen, ſo iſt das Licht nach Verhältniß der Oxydation des Eiſens roth. Von dieſem blos momentanen Lichte unterſcheidet Deſſaignes ein bei einigen Körpern ſichtbar werdendes Licht von längerer Dauer, das z. B. bei zwei an einander geſchlagenen Stücken Adular einige Minuten lang dauerte und da entſtand, wo ein Riß zwiſchen den Lamellen des Kryſtalls hervorgebracht wurde.

Was den Einfluß der äußeren Wärme auf die durch Reibung veranlaßten Lichterſcheinungen betrifft, ſo hat Deſſaignes gefunden, daß Glasröhren, welche bis 256° C. erhitzt und aneinander gerieben wurden, bei weitem ſchöner leuchteten und daß die Phosphorescenz zunehme, bis die mitgetheilte Hitze nahe daran iſt, das Rothglühen hervor zu bringen. Bei einer Erwärmung über dieſen Grad war keine durch das Reiben erzeugte Lichterſcheinung zu bemerken. Wenn man Stücke eines Kalkſteines gleich nachdem ſie aufgehört haben rothglühend zu ſein, auf die Erde fallen läßt, ſo leuchten ſie wieder, und ſchlägt man einen Kalkſtein gleich nach dem Aufhören des Rothglühens mit einem Schlüſſel, oder ſchlägt auch nur die ihn haltende Zange, ſo wird er alsbald wieder leuchtend. Daß der Grund des in den beſchriebenen Fällen bei der Reibung auftretenden Lichtes nicht die Wärme ſei, wie dies überall der Fall iſt, wo durch Reibung z. B. zweier Hölzer an einander oder des Stahls am Stein beim Feuerſchlagen wirkliche Verbrennung herbei geführt wird, geht ſchon daraus hervor, daß eine nur ſehr geringe, ja faſt gar keine Temperaturerhöhung in den meiſten Fällen ſtatt findet, ſo daß bei den unverbrennlichen Subſtanzen, namentlich bei den Foſſilien gewöhnlich ſchon eine mäßige Reibung mit der Hand und ſchwachem Drucke hinreicht, ein ſchwaches ſichtbares Leuchten hervorzubringen. Ueberdies iſt die Reihenfolge der durch Erwärmung leuchtend werdenden Körper nach der Stärke der Lichtentwickelung eine ganz andere, als die der durch Reibung leuchtend werdenden Körper. Das durch Reiben erzeugte Licht der Foſſilien iſt ferner, wie geſagt wurde, momentan und örtlich, während das durch Erwärmung erzeugte Leuchten anhaltend iſt. Nach Pl. Heinrich leuchtet kein Foſſil mit natürlich glatten oder künſtlich polirten Oberflächen, ſelbſt bei ſtarker Reibung, ſo lange dieſe Oberflächen unverletzt bleiben; ſpringt aber etwas davon ab, oder werden ſie durch Reiben abgenutzt oder rauh, ſo bricht das Licht ſogleich aus. Am leichteſten läßt ſich dies mittelſt Prismen von geſchliffenem Bergkryſtall oder Glas darthun. — Haben die geriebenen Körper ein Gefüge der Art, daß ſich durch Abſpringen immer neue Unebenheiten bilden, wie beim Roſenquarz und Flußſpath, ſo dauert das Leuchten mit ungeſchwächter Helle bis ans Ende des Reibens fort; wird hingegen die Oberfläche allmälig durch Reiben abgenutzt, ſo nimmt das Frictionslicht nach und nach wieder ab. — Hiernach erklärt ſich auch, warum die Steine des Kieſelgeſchlechts alle anderen an Schönheit des Frictionslichtes übertreffen.

Es ſcheint alſo dieſes Leuchten mit dem Abſpringen hervorragender Flächentheile (namentlich kryſtalliniſcher Körper) zuſammenzuhängen und ſcheint demnach dieſelbe Urſache, wie das beim Kryſtalliſiren auftretende Licht zu haben, nämlich eine

beim Zerbrechen oder Zersprengen krystallinischer Körperchen frei werdende Elektricität. Besonders bemerkt muß noch werden, daß dieses durch Reibung erzeugte Leuchten von einem ganz eigenthümlichen Geruche begleitet ist, den Heinrich von einem mit Zersetzungen begleiteten Abspringen von Theilchen herleitet. Sollte aber hier, wo nur von einer mechanischen, nicht aber von einer chemischen Einwirkung, namentlich bei der Reibung gleichartiger Körper an einander die Rede ist, die Ursache des Geruches nicht vielmehr in der Elektricität zu suchen sein? Offenbar hat der bekannte elektrische Geruch mit dem bei der Reibung auftretenden Aehnlichkeit.

Die Erfindung des pneumatischen Feuerzeugs (s. Art. Feuerzeug Bd. III. S. 183) schien zu beweisen, daß Gase, durch einen plötzlichen Stoß stark verdichtet, Lichterscheinungen geben. Neuere Versuche von Thénard *) haben jedoch dargethan, daß die Zusammendrückung an sich selbst nicht fähig ist, das Leuchten eines Gases zu bewirken und daß das Leuchten im pneumatischen Feuerzeuge eine Verbrennungserscheinung oder Erscheinung chemischer Zersetzung an dem Oel oder Fett sei, womit das Leder des Stempels getränkt ist. Saissy hat schon früher die Bemerkung gemacht, daß im pneumatischen Feuerzeuge zwar Luft, Sauerstoffgas, Chlorgas durch Druck leuchtend wurden, dagegen alle übrigen Gase, als Stickstoff, Wasserstoff, Kohlensäure selbst in der dichsten Finsterniß bei einem heftigen Stoße keine Lichterscheinung zeigten. Thénard fand diese Bemerkung und durch Versuche den oben angegebenen Satz, daß das Leuchten nur die Erscheinung einer chemischen Zersetzung des Oeles oder Fettes am Stempel sei, bestätigt. Als nämlich Thénard statt der gewöhnlichen Stempel aus mit Oel oder Fett getränktem Leder andere anwendete, bei denen keine Zersetzung stattfinden konnte, blieb die Lichterscheinung bei der Compression aus. Er ließ zu diesem Zwecke Stempel von Filz verfertigen, welche leicht vom Wasser benetzt werden, oder setzte auch auf den Lederstempel einen kleinen Metallcylinder, so daß alle unmittelbare Berührung zwischen dem Leder und dem Gase aufgehoben wurde. Anderemale nahm er einen Stempel, der unten aus Leder, in der Mitte aus Filz und oben, aber nur in geringer Ausdehnung, aus Messing bestand. Er wandte dabei lange sorgfältig kalibrirte und oben durch einen wohl eingetriebenen Glasstöpsel verschlossene Röhren an, und bewerkstelligte die Compression wie bei den gewöhnlichen Feuerzeugen, an einem möglichst dunklen Orte mit freier Hand sehr stark und plötzlich. Hatte man unter diesen Umständen den Filz oder Metallcylinder mit Wasser benetzt und die Glasröhre mit Kali gereinigt, so fand niemals eine Lichtentwickelung statt; dagegen zeigte sich fast immer ein schwacher Schein, sobald der Filz nicht gut benetzt oder die Röhre schlecht gereinigt worden war. Es war natürlich, diese Resultate mit den anderen Erscheinungen der Zusammendrückung, z. B. der Entzündung von Feuerschwamm, Holz, Papier ꝛc. zu vergleichen. Es wurde daher oben auf dem Stempel, welcher sich in einen Cylinder von angefeuchtetem Filz oder von Messing endigte, ein Stück Papier angebracht. Dies fing im Sauerstoffgas augenblicklich Feuer und verbrannte mit sehr lebhaftem Glanze. Mit Oel getränkt brannte es noch leichter. Alle weißen, recht trockenen Holzsorten und selbst das sehr harte Buchsbaumholz entzündeten sich mit Lebhaftigkeit.

*) Ann. de Chim. et de Phys. T. XLIV. p. 181. Pogg. Ann. Bd. XIX. S 442.

Bei einem Verſuche, wo der Cylinder mit einer Scheibe Buchsbaumholz bedeckt war, entzündete ſich dieſe am Rande, obgleich kein anderer Körper da war, der die Entzündung hätte bedingen können. Einen ſehr feinen Eiſendraht zu verbrennen, wurde vergebens verſucht. Er ſtellte auch ähnliche Verſuche mit Chlor an, und beobachtete, daß Papier, wenn es nur ſehr wenig mit Oel getränkt war, glühend wurde und daß ſich Salzſäure dabei bildete. Nur gelingt es mit dem Papier nicht, eben ſo wenig mit dem Holze, wenn die Wirkung zu ſchwach oder zu langſam iſt.

Ein anderes Reſultat der Verſuche von Thénard war, daß ſich in verdichteter Luft brennbare Körper bei niederer Temperatur eher entzünden, als unter gewöhnlichem Drucke (der Atmoſphäre). Er fand nämlich, daß es unter dem atmoſphäriſchen Drucke unmöglich ſei, Tannenholz bei 350° C. in Sauerſtoffgas zu entzünden; es wurde nur dunkelbraun gefärbt, allein unter einem Drucke von ungefähr $3^1/_2$ Atmoſphären fing das Holz bei höchſtens 252° C. Feuer.

Der Verſuch wurde mit einer kleinen gebogenen Glasglocke angeſtellt, in deren krummem Theile ſich das Holz befand, und die über Queckſilber mit Sauerſtoffgas gefüllt ward. Der gebogene Theil war in ein Queckſilberbad getaucht, das auf einem Ofen ſtand und die Glocke war mit einer ſehr langen aufrecht geſtellten Glasröhre mittelſt einer ſehr ſtarken und gut ausgewählten Kautſchukröhre verbunden, die an die Glocke und Röhre feſtgebunden war. Der Druck wurde durch Einſchütten von Queckſilber in die ſenkrechte Röhre erhalten *), die Temperatur durch Erhitzen des Queckſilberbades.

Endlich hat Thénard gefunden, daß ein Gas, welches in einem Glasrohre ſtark zuſammengedrückt wird, auf eine 205° C. weit überſteigende Temperatur gelangt, auch wenn es kohlenſaures Gas, Waſſerſtoffgas oder Stickgas iſt. Ein Gemenge von Knallqueckſilber mit Sand, welches ſich über Queckſilber (unter dem Drucke von etwa $3^1/_2$ Atmoſphären) erhitzt bei 205° C., und bei gewöhnlichem Druck erſt in viel höherer Temperatur, in kohlenſaurem Gas, Waſſerſtoffgas oder Stickgas entzündete, detonirte auch, wenn es auf dem Stempel des Feuerzeuges, das mit dem irreſpirablen Gaſe gefüllt war, angebracht wurde, bei Compreſſion des Gaſes. Dieſe Temperaturerhöhung des comprimirten Gaſes iſt es, welche als Haupturſache der Entzündung brennbarer Körper, welche ſich unter dem Kolben des pneumatiſchen Feuerzeuges befinden, betrachtet werden muß.

Auch bei der plötzlichen Ausdehnung der Luft ſind Lichterſcheinungen beobachtet worden. Füllt man Glaskugeln mit Sauerſtoffgas und zerbricht dieſelben im luftleeren Raume, ſo gewahrt man nach Biot, indem ſich das Sauerſtoffgas ausbreitet, eine helle Lichterſcheinung im Dunklen. Es iſt ferner ein bekannter Verſuch, den man an der Luftpumpe anzuſtellen pflegt, daß man die Luft in einem metallenen, oben mit einer übergebundenen Blaſe verſchloſſenen Cylinder verdünnt, bis die Spannung der äußeren Luft ſo ſehr die der inneren überwiegt, daß die Blaſe eingedrückt wird. Auch hierbei erſcheint nach Deſſaignes ein Licht, und zwar ein um ſo lebhafteres, je vollſtändiger das Auspumpen war. Eine entſprechende Erſcheinung iſt das Licht, welches beim Zerſprengen von Knallbomben entſteht, und welches ſich von allen Seiten gegen die beim Fallen auf den

*) Je 28 Zoll der Queckſilberſäule drücken mit Einer Atmoſphäre Kraft; vergl. die Art. Atmoſphäre und Barometer.

Boden zerſchlagene gläſerne Knallbombe hinzuſtürzen ſcheint. — Wenn man im Dunklen eine Windbüchſe abſchießt, ſo ſieht man aus der Mündung des Rohres häufig einen Lichtbüſchel hervorkommen, der alsbald verſchwindet, aber zuweilen eine Länge von mehr als $^1/_2$ Fuß hat. Nach Heinrich tritt dieſe Lichterſcheinung nur bei ſtarken Ladungen der Windbüchſe auf, entſtand aber ſowohl wenn der Lauf der Büchſe ganz von Stahl war, als wenn er mit Blei gefüttert war, ſowohl wenn eine Kugel geladen war, als ohne dieſelbe. Ließ man die Luft, ohne einen Lauf anzubringen, aus dem Behälter, in welchem ſie zuſammengepreßt war, entweichen, ſo erſchien kein Licht und auch ſchon eine zu große Weite des Laufes verhinderte die Erſcheinung. Beſſer als in einem metallenen Lauf trat die Lichterſcheinung bei einem gläſernen auf. Auch durch vorherige Erwärmung der Windbüchſe wurde die Lichterſcheinung lebhafter. Hart konnte bei mehreren Verſuchen keine Lichterſcheinung gewahren, obſchon er Verſuche mit feuchter, trockner und warmer Luft anſtellte. Erſt nachdem er einen Pfropf anwendete, erhielt er die gewünſchte Erſcheinung. Der Verſuch gelang nun allemal bei Anwendung von Seide, Tuch und Gummilack. Ein vorzüglich ſchönes grünliches Licht erſchien zuweilen, wenn er Glas in den Lauf brachte. Aus ferneren Verſuchen ging nun aber hervor, daß der Lichtblitz auch ohne Pfropf erhalten werden konnte, wenn zufällig oder abſichtlich Sand, Quarz oder andere harte Körper, die beim Reiben Licht geben, in den Lauf gekommen waren; ſelbſt wenn man Sand, Flußſpath, Zucker auch nur vor das Rohr hielt, ſo zeigten ſie ſich bei dem ſie treffenden Schuſſe leuchtend. Ganz reine Seide brachte keine Lichterſcheinung hervor und ſo machte Hart den Schluß, daß die Reibung harter Körper am Rohre die Urſache dieſes Lichtes ſei.

Außer den erwähnten Körpern bewirken auch metallene Bürſten oder feine Drähte, wenn ſie vor die Mündung des Laufes der Windbüchſe gehalten werden, eine lebhafte Lichterſcheinung, wie namentlich Schweigger durch Verſuche dargethan hat.

Auch bei Zerſetzung des Euchlorins durch Wärme, der Zerſetzung des oxygenirten Waſſers, des Chlorſtickſtoffes und Jodſtickſtoffes, bei welchen ſämmtlich eine Gasart ſich ſchnell in ein großes Volumen ausdehnt, bemerkt man Lichtentwickelung.

Heinrich und Deſſaignes haben ferner über das Licht, welches durch Druck auf tropfbare Flüſſigkeiten entſteht, Verſuche angeſtellt. Sie bedienten ſich hierbei einer Röhre von dickem Glaſe, die mit gekochtem Waſſer und anderen ſorgfältig von Luft befreiten flüſſigen Körpern zum Theil gefüllt wurde. Indem nun ein dichtſchließender Kork die Oberfläche des Waſſers ohne Zwiſchenraum berührte und dieſer durch einen plötzlichen heftigen Schlag mit einem ſchweren Hammer gegen das Waſſer gedrückt, alſo auch dieſes ſelbſt comprimirt wurde, ſo zeigte ſich im Dunklen ein ziemlich ſtarkes, gelbliches Licht, das dem durch Verbrennung von Waſſerſtoffgas und Sauerſtoffgas im Volta'ſchen Eudiometer glich. Dieſes Licht zeigte ſich immer nur in der unteren Hälfte des Cylinders oder in dem Theile des Waſſers, welcher von dem geſtoßenen Pfropfe am entfernteſten war. Es zeigte ſich nie, wenn auch nur die geringſte Quantität Waſſer, neben dem ſchließenden Pfropfen hervordringend, einen Ausweg fand, und in dieſen Fällen war auch der durch den Schlag hervorgebrachte Schall merklich anders, indem er nur, wenn gar kein Waſſer hervordrang, dem Klange eines geſchlagenen harten

Körpers glich. Die Farbe des Lichtes war bei verſchiedenen Flüſſigkeiten ungleich und auch nach Verſchiedenheit der Stärke des Stoßes ungleich.

Zu den intereſſanteſten Lichterſcheinungen gehört die Phosphorescenz (von dem griech. φῶς, Licht, und φέρω, ich trage), worunter man gewöhnlich überhaupt ein ſchwaches Leuchten eines Körpers im Dunklen verſteht, ohne daß dabei ein eigentliches Brennen ſtattfände. Hiernach würde ſich die Phosphorescenz von dem Glühen durch die geringe Intenſität des Lichtes und von dem Verbrennen durch den Mangel chemiſcher Zerſetzung unterſcheiden; doch muß man geſtehen, daß eine ſcharfe Grenzlinie in dieſer Beziehung noch keineswegs feſtſteht, weshalb denn auch von vielen Naturforſchern die vorhergehenden Lichtphänomene zum Theil zur Phosphorescenz gerechnet werden, und daß mithin der Begriff der Phosphorescenz noch an einer gewiſſen Unbeſtimmtheit leidet, welche erſt durch fortgeſetzte Unterſuchung des Phänomens verſchwinden wird.

Die bedeutendſten Unterſuchungen über Phosphorescenz haben Placidus Heinrich (a. a. O.), Deſſaignes (a. a. O.), Wach *), Matteuci **), Becquerel ***) und John W. Draper ****) angeſtellt *****).

Die alte Geſchichte von dem Karfunkel deutet an, daß man ſchon in früheſter Zeit Erſcheinungen der Phosphorescenz beobachtet hat. Der Diamant ſcheint aber der erſte Körper geweſen zu ſein, an welchem die Thatſache feſtgeſtellt wurde; denn im dreizehnten Jahrhunderte ſagt der Alchemiſt Albertus Magnus, er habe einen Diamanten geſehen, der in warmem Waſſer zu glühen ſchien. Aufmerkſam auf das Phänomen der Phosphorescenz wurde man indeſſen eigentlich erſt, als im Jahre 1602 der Schuhmacher Vincenzio Cascariolo ſeinen berühmten Leuchtſtein, den ſogenannten Bologneſer oder Bononiſchen Stein oder lapis solaris entdeckte †). Es iſt dieſer Stein ein eiſenfreier Schwerſpath, der zu gröblichem Pulver geſtoßen, mittelſt Eiweiß oder Tragantſchleim zu dünnen Paſten geformt und bei freiem Feuer zwiſchen glühenden Kohlen — nicht in dem heftigen und anhaltenden Feuer eines Reverberirofens oder in einer Muffel, auch ohne Anwendung eines Gebläſes — etwa zwei Stunden lang erhitzt wird. Der ſo behandelte Stein riecht ſehr ſtark nach Schwefelleber und brauſt mit Säuren behandelt ſtark auf, was vorher nicht der Fall war. Seine phosphorescirende Eigenſchaft nimmt durch die Länge der Zeit wieder merklich ab und kann zuletzt ganz verſchwinden, wenn das Präparat nicht ſorgfältig vor der Luft und dem Tageslichte verwahrt wird. In hermetiſch verſchloſſenen Röhren aber, oder auch

*) Schweigger's Journ. Bd. LXVII. S. 283.

**) Bibl. univ. de Genève. No. 79. T. XL. Juli 1842. p. 139. Compt. rend. T. XV. p. 288.

***) Compt. rend. T. VIII. p. 223. Pogg. Ann. Bd. XLVIII. S. 540; Bd. XLIX. S. 343 u. Bd. LXXVII. S. 69. Bibl. univ. T. XIX. p. 422; T. XLI. p. 352.

****) Philos. Magaz. T. XXV. p. 103; T. XXVII. p. 435; 4. Ser. T. I. p. 81; vergl. Krönig, Journ. für Phyſik Bd. I. S. 471.

*****) Die vollſtändige Literatur über Phosphorescenzerregung durch Inſolation bis zum Jahre 1845 iſt zuſammengeſtellt in: Die Fortſchritte der Phyſik im J. 1845. Berlin 1847. Jahrg. I. S. 243 — 247.

†) Hooke's experiments by Derham. p. 178. Prieſtley's Geſchichte der Optik. S. 265. — Galilei ſoll nach La Galla die Eigenſchaft dieſes Steines ſchon früher gekannt haben; vergl. De Phaenomenis in orbe Lunae. Venet. 1612. p. 58.

nur zwiſchen Baumwolle in einem hölzernen Schächtelchen aufbewahrt, behält er ſeine Wirkſamkeit ins Unbeſtimmte.

Die erſte Beobachtung, daß Körper durch Beſtrahlung oder Inſolation (v. dem lat. insolare — von in und sol — der Sonne ausſetzen) d. h. wenn ſie vorher dem Tageslichte oder noch beſſer dem directen Sonnenlichte ausgeſetzt werden, phosphoresciren, machte man 1677 an dem Balduin'ſchen Phosphor. Der Sachſe Balduin wollte nämlich durch Auflöſen von Kreide in Scheidewaſſer und Deſtillation in einer Retorte den Geiſt der Welt gewinnen und erhielt bei ſeinen Verſuchen einen Körper, der im Dunklen leuchtete, wenn er vorher dem Sonnenlichte ausgeſetzt war. Nach Heinrich wird geſtoßene Steinkreide mit gutem Scheidewaſſer bis zur Sättigung gemiſcht, das Uebrige abgeſaigert, die Miſchung auf einem warmen Ofen getrocknet, zerſtoßen und mit Eiweiß zu Paſten geformt; dieſe Paſten werden eine Stunde lang zwiſchen lebhaft glühenden Kohlen gebrannt, dann abgekühlt und dem Tageslichte ausgeſetzt.

Die Entdeckung des Phosphors von Brandt 1674, deſſen Bereitungsart aber erſt 1737 bekannt wurde, lenkte die Naturforſcher beſonders auf die Phosphorescenz und ſeitdem iſt auch erſt dieſer Begriff in Gebrauch gekommen. Schon vorher wurden aber von Boyle dahin zielende wiſſenſchaftliche Unterſuchungen angeſtellt, als man an einem im Beſitze Clayton's befindlichen, ſpäter von Carl II. angekauften Diamante das Leuchten im Dunklen beobachtete. Boyle ſtellte feſt, daß der Diamant durch Reibung mit verſchiedenen Körpern leuchtend wird und zugleich eine Elektricitätsentwickelung zeigt, daß er aber auch leuchtet, wenn er durch ein Licht, durch Feuer, heißes Eiſen und ſogar durch Berührung mit dem Körper erwärmt iſt, und daß dabei keine Elektricität entſteht. Auch fand er, daß der Diamant unter Waſſer, unter verſchiedenen ſauren und alkaliſchen Flüſſigkeiten, oder wenn er mit Speichel beſtrichen wurde, phosphorescirend war, und daß das Leuchten in warmem Waſſer zunahm. Es ging alſo ſchon aus Boyle's Unterſuchungen hervor, daß Elektricität und Phosphorescenz in keinem nothwendigen Zuſammenhange ſtehen.

Boyle hatte übrigens den Umſtand überſehen, daß der Diamant zuerſt dem Lichte ausgeſetzt werden muß, wenn er phosphoresciren ſoll. Dies ſtellte Du Fay 1730 feſt, eben ſo daß der Diamant im Dunklen nur eine Zeitlang leuchtet und allmälig verbleicht, daß aber durch Temperaturerhöhung das Phosphoresciren wieder hervorgerufen werde und eine Beſtrahlung von der Dauer einer Secunde hinreiche, um den Proceß einzuleiten. Indem Du Fay ein Auge zuband oder verſchloſſen hielt, um die Beobachtung im Dunklen mit demſelben zu machen, während er das andere bei ſeinen Arbeiten im Hellen brauchte, fand er unter 400 gelben Diamanten keinen, der nicht phosphorescirte, aber einige von weißer, roſenrother, blauer oder grüner Farbe leuchteten nicht. Er entdeckte ferner, daß unter verſchiedenen gefärbten Medien das Leuchten eintrat, z. B. unter buntem Glaſe, unter Waſſer, Milch, nicht aber unter Dinte. Boyle's Beobachtung über die Wirkung der Erwärmung fand er beſtätigt; eben ſo wies er nach, daß die Phosphorescenz von der Elektricität durchaus unabhängig ſei. Ueberdies ſpricht er ſich dahin aus, daß bei richtiger Behandlung wohl alle Körper, die Metalle vielleicht ausgenommen, phosphorescirend werden können.

In der Folge hat man nun eine Menge phosphorescirende Körper dargeſtellt, von denen wir einige hier namhaft machen.

Canton's Phosphor (1768) wird ſo bereitet, daß man gereinigte und $^1/_2$ Stunde lang für ſich geglühte Auſterſchalen in einem Tiegel mit Schwefelpulver ſchichtet, ſo daß ihre innere Fläche immer nach unten zu liegen kommt, und der Tiegel wenigſtens 1 Stunde lang im Windofen glüht.

Um den Antimonphosphor darzuſtellen, beſtreut man den unteren Theil eines Tiegels mit feingepulvertem Schwefelantimon, legt eine calcinirte Auſterſchale darauf, beſtreut — mittelſt eines feinen Siebes — den oberen Theil derſelben ebenfalls — ungefähr $1^1/_2$ Linie hoch, — legt ein neues Stück Auſterſchale auf und füllt auf dieſe Weiſe den Tiegel damit an; lutirt jetzt einen Deckel darauf und ſetzt ihn 1 Stunde lang der Rothglühhitze aus. Bei Oeffnung des Tiegels findet man die oberen Schalen, einige gelbe Stellen abgerechnet, unverändert. Dieſe werden ausgewählt, die unteren aber — öfters ganz gelben und ſchwarz gefleckten — werden wegen Untauglichkeit verworfen. Setzt man dieſen Phosphor dem Tageslichte aus und bringt ihn hierauf ins Dunkle, ſo leuchtet er mit weißgrünem Lichte und übertrifft ſowohl an Stärke des Lichtes, als an Dauer des Leuchtens auffallend das Licht des Bononiſchen Steines.

Die Bereitung des Realgarphosphors geſchieht wie bei dem Antimonphosphor durch Behandlung calcinirter Auſterſchalen mit feingepulvertem Realgar. Dieſer Phosphor leuchtet mit blauem, der Flamme des brennenden Schwefels zu vergleichendem Lichte. So wie bei dem Antimonphosphor leuchten auch hier nur die weißen Stellen.

Der Arſenikphosphor wird erhalten, wenn einfach arſenikſaurer Baryt, den man durch Fällung des ſalzſauren Baryts mit Arſenikſäure darſtellt, mittelſt Tragantſchleims zu Paſten gemacht und einem halbſtündigen Glühen zwiſchen Kohlen ausgeſetzt wird. Mit weniger Verluſt verfährt man, wenn die Maſſe auf abgebrochene Stückchen thönerner Pfeifen geſtrichen und auf eine irdene Unterlage gelegt der Glühhitze ausgeſetzt wird. Dieſer Phosphor leuchtet mit rothem Lichte, ähnlich dem Bononiſchen Phosphor.

Auch Verbindungen von Kalk mit Operment, mit Zinnober, mit Muſivgold und mit Schwefelzink auf ähnliche Weiſe als der Antimonphosphor dargeſtellt, ſind Phosphore, doch minder gute, als die eben beſchriebenen. — Nach Heinrich erhält man auch einen ſchönen Phosphor, wenn man ein Gemenge aus 4 Theilen Alabaſter mit 3 Theilen Sauerkleeſalz in einem Schmelztiegel zwiſchen Kohlen zwei Stunden hindurch mäßig glüht.

Wach hat 1833 ausführliche und intereſſante Verſuche über die Bereitungsart der Leuchtſteine angeſtellt. Derſelbe löſte künſtlichen Schwefelarſenik in Ammoniak auf, beſtrich weißgebrannte Auſterſchalen dünn mit dieſer Löſung, beſtreute ſie nach dem Eintrocknen mit Schwefel und glühte ſie im verſchloſſenen Tiegel. Hierdurch erhielt er Phosphore von einer ſolchen Leuchtkraft, daß deren ſchönes blaues Licht in einem von gemeinem Tageslichte erhellten Zimmer ohne weitere Vorbereitung des Auges ganz deutlich wahrgenommen werden konnte *). Wie

*) Wach bemerkt: Eine ſolche Stärke der Leuchtkraft habe er in allen Abhandlungen, welche über künſtliche Phosphore geſchrieben ſind, nicht angeführt gefunden. Nur Pl. Heinrich führe als etwas Außerordentliches an, daß Baſ. Sewergin einen ſibiriſchen Flußſpath beſeſſen habe, welcher durch Erwärmen bei hellem Tage mit bläulichem und ſmaragdgrünem Lichte phosphorescirte.

hier die Beimiſchung eines Minimums, von einem Schwefelmetalle, ſo zeigte ſich auch die Beimiſchung eines Minimums von Bittererde zu dem Schwerſpath- oder Cöleſtin-Pulver von beſonderer Wirkſamkeit für die Erhöhung der Leuchtkraft. Wach miſchte drei bis vier Proc. reiner Bittererde zu dem fein präparirten und mit Salzſäure digerirten Schwerſpath- oder Cöleſtin-Pulver, formte aus dieſer Miſchung mit dickem Tragantſchleim etwa eine Linie dicke Paſten und glühte dieſe nach dem Trocknen, theils im bedeckten Tiegel, theils zwiſchen Kohlen. Auf dieſe Weiſe erhielt er Leuchtſteine von außerordentlicher Stärke. Blieb der Bittererdezuſatz weg, ſo leuchteten die Leuchtſteine bei weitem ſchwächer, obſchon ſie ſonſt aus denſelben Beſtandtheilen und unter denſelben Bedingungen bereitet waren. Die im Tiegel geglühten Paſten, welchen etwas Bittererde zugemiſcht war, leuchteten gleichförmig ſtark, die Schwerſpathleuchtſteine feuerroth, die aus Cöleſtin bereiteten ſmaragdgrün; dagegen phosphoreſcirten die im offenen Feuer zwiſchen Kohlen geglühten an manchen Stellen bedeutend ſtark, während andere Stellen gleichſam todt gebrannt erſchienen.

Anſtatt eines Bittererdezuſatzes, welcher beſonders bei den aus Schwerſpath oder Cöleſtin zu bereitenden Phosphoren ſehr zu empfehlen iſt, kann man ſich nach Wach mit einem ebenfalls günſtigen Erfolge des Zuſatzes einiger ſchweren Metalloxyde, namentlich des Zinkoxydes, Zinnoxydes, Kadmiumoxydes und Antimonoxydes bei ſolchen Leuchtſteinen bedienen, die aus weiß gebrannten Auſterſchalen erhalten werden. Folgendes Mengenverhältniß von Auſterſchalen, Schwefel und Metalloxyd gab nach oft wiederholten Verſuchen das günſtigſte Reſultat: 100 Gewichtstheile Schwefelblumen werden innig vermengt mit 10 Gewichtstheilen der angeführten Metalloxyde; 1 Gewichtstheil weißgebrannter Auſterſchalen wird mit $^1/_3$ Gewichtstheil der eben angeführten Miſchung gleichförmig beſtreut und eine halbe Stunde im bedeckten Tiegel mäßig durchglüht.

Die Farbe der mit Zinnoxyd bereiteten Leuchtſteine war ein wenig gelblich weiß, die Leuchtkraft ſtark und lang anhaltend, das Licht weiß. — Die mit etwas Zinkoxyd bereiteten Phosphore hatten die weiße Farbe, die Leuchtkraft derſelben war ausgezeichnet ſtark und lange anhaltend, das Licht ſeegrün und ſtellenweiſe bläulich weiß. — Die Farbe der Leuchtſteine, welchen etwas Kadmiumoxyd zugeſetzt iſt, iſt gelblich, die Leuchtkraft ſtark, das Licht hochgelb. — Das beigemiſchte Antimonoxyd hatte den Phosphoren eine ſchwache Ocherfarbe ertheilt, das Licht war ſchön weiß und ſtark, aber nur von kurzer Dauer. — Nach Oſann *) geben mit Realgar bereitete Phosphore ein blaues und violettes, mit Schwefelantimon bereitete ein grünes, mit Zinnober hergeſtellte ein hellgrünes und mit an der Luft zerfallenem Schwefelantimonphosphor erhaltene ein weißes Licht.

Die Aufbewahrung der Phosphore geſchieht nach Oſann in verſiegelten oder mit Blaſe zugebundenen Gläſern, doch braucht man hiermit nicht ſehr zu eilen, indem über drei Wochen in einer offenen Schale dem Lichte und der atmoſphäriſchen Luft ausgeſetzte Phosphore wenig oder nichts von ihrer Leuchtkraft verloren hatten. Erſt wenn der Kalk zerfällt, mindert ſich die Leuchtkraft. Um das phosphoriſche Leuchten zu beobachten, läßt man den Leuchtſtein 8 bis 10 Se-

*) Kaſtner's Archiv. Bd. IV. S. 347; Bd. V. S. 88. Bibl. univ. T. XL. p. 118. Pogg. Ann. Bd. XXXIII. S. 405.

cunden von der Sonne oder dem hellen Tageslichte beſcheinen und bringt ihn dann in vollkommenes Dunkel.

Außer den künſtlichen Präparaten giebt es viele natürliche Subſtanzen, welche durch Beſtrahlung im Dunklen leuchtend werden. Sie ſind hinſichtlich ihrer Lichtſtärke, Farbe und hinſichtlich der Dauer ihres Leuchtens ſehr verſchieden. Im Allgemeinen ſind die kalkartigen Foſſilien die beſten Phosphore. Die kohlenſauren Kalke geben ein glänzendes, helles weißes Licht, welches jedoch höchſtens etwa $^1/_2$ Minute ſichtbar iſt; noch geringer iſt der ſchwefelſaure Kalk und die phosphorſaure Kalkerde (z. B. Knochen). Der ausgezeichnetſte Phosphor iſt der Flußſpath, welcher nach einer wenige Minuten währenden Beſtrahlung viele Minuten im Dunklen leuchtet, obſchon mit nicht ſehr glänzendem Lichte. Die in der Natur vorkommenden Salze (roher Borax, natürliches Steinſalz aus Polen und gemeines Kochſalz, natürlicher Salmiak, natürliches Glauberſalz, natürlicher Alaun, natürliches Bitterſalz ꝛc.) kommen ihm ziemlich gleich.

Die kalkartigen Foſſilien ſtehen hinſichtlich ihrer Leuchtkraft nach Heinrich in folgender Ordnung. 1) Flußſpath von allen Farben, vorzüglich grüner; 2) Kalkſinter, Tropfſteine, Pfannenſteine; 3) verſteinerte Schneckenhäuſer und Muſcheln; 4) Belemniten und Glossopetrae; 5) Karlsbader Sinter, Sprudel- und Erbſenſtein; 6) Eiſenblüthe; 7) Marmorſteine von verſchiedenen Ländern und Farben, vorzüglich die weißen; 8) Arragonit und Dolomit, gemeiner Kalkſpath; 9) Bergmilch, Kreide, verhärteter Mergel; 10) ächter isländiſcher Doppelſpath; 11) weiße Korallen, Fungiten, Seeigel; 12) foſſile Knochen und Zähne der Säugethiere; 13) Eierſchalen der Vögel, beſonders die weißen; 14) orientaliſche Perlen; 15) Harn- und Gallenſteine von Menſchen und Thieren; 16) Alabaſter ſowohl in roher als polirter Geſtalt; 17) Pharmakolith; 18) Marienglas.

Sehr intereſſante Beobachtungen hat Grotthuß *) über den Chlorophan (röthlich violetter Flußſpath von Nertſchinsk) gemacht. Iſt dieſer Wochen lang im Dunkeln aufbewahrt worden, und wird dann, ohne dem Lichte ausgeſetzt geweſen zu ſein, im Dunklen beobachtet, ſo leuchtet er gewiß nicht, auch wenn er durch die Wärme der Hand etwas erwärmt wird; ſtellt man ihn aber einige Minuten lang ins Sonnen- oder Kerzenlicht, ſo behält er mehrere Tage, ja Wochen lang das Vermögen, im Dunklen zu leuchten, und wenn er es allmälig verliert, ſo reicht geraume Zeit hindurch die Wärme der Hand hin, um es wieder hervorzubringen. Hat der Chlorophan zwei bis drei Monate lang in der Finſterniß gelegen, ſo fängt er erſt bei 45° bis 50° R. an zu leuchten und zeigt ſich bei dieſer Wärme ſelbſt im Waſſer leuchtend. v. Grotthuß beſchreibt einen Verſuch, wo ein Canton'ſcher Phosphor neben einem Chlorophan 15 Min. in das Sonnenlicht geſtellt wurde und dann jeder in einer Schachtel wohl verſchloſſen ins Dunkle geſetzt wurde. In der Nacht wurden beide hervorgenommen und leuchteten gleich ſtark; in der zweiten Nacht, während den Tag über wieder beide im Dunkeln wohl verwahrt geweſen, leuchtete der Chlorophan ſchon ſtärker, als der Canton'ſche Phosphor, und in den folgenden Nächten ward der Unterſchied immer deutlicher; in der

*) Schweigger's Journ. Bd. XIV. S. 133. Bibl. univ. T. I. p. 247.

fünften Nacht leuchtete der letztere nicht mehr und das Leuchten konnte nur bis zur siebenten Nacht noch durch die Wärme der Hand hervorgerufen werden, statt daß der Chlorophan bis in die zehnte Nacht ohne weitere Nachhülfe und bis zur 24. Nacht bei Erwärmung durch die Hand sich leuchtend zeigte; in der 36. Nacht konnte durch 40° R. Wärme noch ein matter Schimmer hervorgerufen werden. Wurde der Chlorophan bei — 25° Kälte der Sonne ausgesetzt und dann in ein dunkles Zimmer von + 6° bis + 8° Wärme gebracht, so leuchtete er vorzüglich schön mit grünem Lichte, das erst nach einigen Stunden in einen matten farbenlosen Schimmer überging. Wurden dagegen erwärmte Stücke (von 25° bis 30° R. warm) dem Sonnenstrahle ausgesetzt und dann in ein dunkles Zimmer von 0° bis 10° gebracht, so war das Leuchten schwächer und von kürzerer Dauer, so wie es auch bei dem Canton'schen und Bononischen Phosphor der Fall ist. Selbst durch das 2 Minuten hindurch ihn treffende Kerzenlicht blieb er 10 Stunden lang leuchtend.

Die zum Barytgeschlecht gehörigen Mineralien leuchten nach der Bestrahlung auf kurze Zeit, am besten auf dem frischen Bruche. Dagegen fand Heinrich gar nicht oder äußerst schwach und nur ein paar Stunden lang leuchtend, alle sogenannten Edelsteine und alle nur etwas reinen Kieselsteine, die Steine des Thonerden- und Talkerdengeschlechts. Es phosphorescirt ferner kein regulinisches Metall durch Insolation; die Metallsalze (z. B. schwefelsaures Queckſilber) ziemlich gut, die künstlichen, durch Feuer bereiteten, Metalloxyde sehr schwach oder gar nicht, die natürlichen etwas besser. Ferner phosphorescirt kein brennbares Mineral (Steinkohle, Erdpech, Schwefel ꝛc.) mit Ausnahme des Bernsteins, welcher mittelmäßig phosphorescirt, und des Diamants, der in verschiedenen Exemplaren ein sehr verschiedenes Verhalten zeigt. Fast eben so viele Diamanten besitzen die phosphorescirenden Eigenschaften, als andere, die sie nicht besitzen; auch ist die Dauer der Phosphorescenz bei ersteren sehr verschieden, von 5 bis 6 Secunden bis zu einer vollen Stunde. — Reines Wasser, reines Glas, geschliffener Bergkrystall leuchten nicht oder kaum merklich; sehr reines und durchsichtiges Eis hingegen leuchtet. — Auch gehören zu den guten Phosphoren dieser Art Borarsäure, Milchzucker, Benzoësäure.

Frische Bestandtheile der organischen Individuen sind gar nicht oder nur schlechte Phosphore durch Insolation. Indeß wollen doch Dessaignes und Placidus Heinrich einigemal Phosphorescenz durch Bestrahlung an ihren eigenen trockenen Fingern beobachtet haben. Werden thierische Substanzen, welche Fette oder Oele enthalten (z. B. Federn von Vögeln, geronnene Milch, Käse, Eigelb u. a.) stark ausgetrocknet, so phosphoresciren sie durch Bestrahlung. Ausgetrocknete Pflanzen phosphoresciren nur schlecht, frische gar nicht. Altes Zuckerrohr, gebleichtes Wachs, Hutzucker, arabisches Gummi leuchten gut. Die Pflanzenstoffe werden durch Bleichen in ihrer Leuchtkraft durch Insolation (das Bleichen ist selbst nur eine länger dauernde Insolation) gekräftigt, so z. B. sind gebleichte Leinwand, weißes Papier sehr gute Leuchter. Die Anzahl der Phosphore durch Insolation ist also sehr groß, und nicht mit Unrecht sagt daher Draper neuerdings, wie schon früher Du Fay vermuthete, daß alle festen Körper, mit Ausnahme der Metalle, die Fähigkeit zu phosphoresciren besitzen.

Es wurde schon oben die allgemeine Bemerkung gemacht, daß die Phosphorescenz in Bezug auf Lichtstärke, Farbe und Dauer sehr verschieden sei. Bei

einigen Körpern iſt das Licht glänzend und hell, bei anderen ruhig und ſanft, bei vielen endlich matt, ſchwach und kaum bemerkbar. Alles phosphoriſche Licht der natürlichen, noch nicht durch künſtliche Präparation veränderten Phosphore iſt nach Heinrich weiß und ohne prismatiſche Farben, nur das Licht einiger Diamante anfangs etwas feurig. Künſtliche Präparate hingegen können mit mancherlei Farben prangen, ſo der Bologneſer Leuchtſtein mit einem gelbrothen, der Schwefelſtrontian mit einem grünen oder bläulichen, der Canton'ſche Phosphor mit einem hellgelben oder roſenrothen, Glycinerde und Chlorophan mit einem grünen. Dieſe Farbe ſteht in keiner Beziehung zu der Farbe des Lichtes, mit welchem der Leuchtſtein zum Phosphoresciren gebracht wurde; wie denn z. B. der mit dem blauen Strahle inſolirte Diamant oder Canton'ſche Phosphor mit ihrem gewöhnlichen Lichte leuchten.

Der Flußſpath und der Diamant leuchten unter den natürlichen Phosphoren am längſten, nämlich mehrere Minuten; die am ſtärkſten leuchtenden Phosphore ſind nicht die, welche am längſten leuchten, ſo z. B. hat der zuweilen eine halbe Stunde leuchtende Flußſpath ein minder lebhaftes Licht, als die Phosphore des kohlenſauren Kalkgeſchlechtes, welche höchſtens eine halbe Minute leuchten. Die Angaben über die Länge der Dauer des Leuchtens weichen übrigens ſehr von einander ab, weil es bei den hierüber angeſtellten Beobachtungen auf die größere oder geringere Dunkelheit des Beobachtungsortes, auf die individuelle Beſchaffenheit des Auges des Beobachters und endlich noch auf die individuelle Beſchaffenheit des Exemplars eines phosphoresciренden Körpers ankommt. Der Canton'ſche Leuchtſtein z. B. ſoll 10 Secunden dem Sonnenlichte ausgeſetzt, nach Deſſaignes 10 Stunden, nach Grotthuß 5 Tage, Chlorophan nach Grotthuß 10 Tage, nach Heinrich nur 30 bis 60 Minuten zu leuchten fortfahren ꝛc. Vergleichende Beobachtungen hat Oſann angeſtellt. Er fand, daß das Leuchten des Bononiſchen Steins nach 4 Minuten, das des Arſenikphosphors erſt nach 34 Minuten, das des Antimonphosphors nach 149 Minuten verſchwand, zu welcher Zeit der Realgarphosphor noch eben ſo ſtark, als eine Stunde zuvor leuchtete. Die Stärke des Leuchtens der Phosphore verhält ſich im allgemeinen, wie die Stärke des Lichts, welches es erregte; am wirkſamſten iſt daher das helle Sonnenlicht und klares Tageslicht. Canton'ſche und Bologneſer Phosphore, Diamant, Papier und Chlorophan werden ſchon durch ſtarkes Lampenlicht leuchtend und bei einigen Diamanten, ſo wie beim Canton'ſchen Phosphor hat man ſogar durch Mondlicht Phosphorescenz hervorzubringen vermocht. Bemerkenswerth iſt, daß der durch Glühen friſch bereitete Bononiſche Leuchtſtein nicht leuchtet, bevor man ihn dem Lichte ausgeſetzt hat. Oſann und Pl. Heinrich fanden, daß, wenn man friſch bereitete Leuchtſteine noch heiß, ſo wie man ſie eben aus dem Tiegel oder aus den glühenden Kohlen nimmt, dem Sonnenlichte ausſetzt und ſie dann ins Dunkle bringt, ſie wenig oder gar nicht leuchten. Ihre Eigenſchaft, durch Beſtrahlung leuchtend zu werden, nimmt in demſelben Verhältniß zu, in welchem ſie erkalten.

Unter den Strahlen des Prismas wirkt nach Matteuci der violette (nach Grotthuß der blaue) am ſtärkſten, das über das Spectrum hinausgehende und das indigofarbene ſchwächer, die übrigen farbigen Strahlen kaum merklich zur Hervorbringung der Phosphorescenz. Geht das Licht vorher durch gefärbte Subſtanzen, ſo zeigt ſich das nämliche Verhalten. Die Transparenz äußert keinen Einfluß auf die Stärke der Phosphorescenz, die Dicke einen geringen, aber Farbe

und Beſchaffenheit der transparenten Körper, durch welche das Licht vorher fällt, einen ſehr bedeutenden, ſo daß die Phosphorescenz ganz verſchwinden kann. Phosphore, die durch farbloſes Licht leuchtend geworden ſind, erlöſchen nach Seebeck und Becquerel im rothen Strahle viel ſchneller, als im Dunklen, ja im rothen, durch die Linſe concentrirten Lichte augenblicklich. Rieß *) hat dies Verhalten namentlich an Diamanten beſtätigt gefunden, indem dieſe durch blaues Licht zur Phosphorescenz gebracht wurden, während eine Beſtrahlung mit rothem Lichte in hohem Grade ſchwächend wirkte. Dieſe an Diamanten feſtgeſtellte Thatſache iſt deshalb beſonders intereſſant, weil bei dieſen nicht wie bei anderen phosphoreſcirenden Körpern an eine chemiſche Veränderung gedacht werden kann. Blaues und violettes Licht bewirken zwar auch Phosphorescenz, wie farbloſes Licht, doch iſt das Leuchten nicht ſo lebhaft, es müßte denn durch eine Linſe concentrirt ſein.

Deſſaignes hat beobachtet, daß bei guten Phosphoren die Beſtrahlung ſogar durch ſie umgebende Körper hindurch noch wirkſam werde. So wurde z. B. ein mit Papier umwickelter Diamant noch durch Beſtrahlung leuchtend und erſt nach einer 6fachen Umwickelung mit Papier hörte die Wirkung der Inſolation auf. Derſelbe Diamant wurde auch noch bei einer Bedeckung mit Lindenholz von $2^1/_2$ bis 7 Millim. Dicke, mit weißem Leder, mit Zinnfolie, mit dem Zeigefinger phosphoreſcirend. Im allgemeinen leuchten unter übrigens gleichen Bedingungen weiße Körper beſſer als farbige und dieſe beſſer als braune und ſchwarze, und Körper in maſſiven Stücken beſſer, als in Pulverform. — Berühren, Drücken, Reiben mit der Hand und dergleichen hemmt das Leuchten nicht. Auch unter reines Waſſer getauchte Körper werden durch Beſtrahlung leuchtend, ſo wie ſie ihr phosphoriſches Licht nicht verlieren, wenn ſie nach der Beſtrahlung unter Waſſer verſenkt werden, vorausgeſetzt, daß das Waſſer den Körper nicht auflöſe. Gut phosphoreſcirende Diamanten behielten dieſe Eigenſchaft nach Pl. Heinrich auch im Waſſerſtoffgas, kohlenſauren Gas und Salpetergas, und ſollen nach Großer ſelbſt in Torricelliſcher Leere phosphoreſciren.

Was bei den angeführten Foſſilien im Kleinen ſtattfindet, wie uns die Beobachtungen zeigen, daß ſie nämlich durch Beſtrahlung zu ſelbſtleuchtenden Körpern werden, findet in der Natur wahrſcheinlich auch im Großen ſtatt und ſo iſt die Vermuthung von Leslie und Pl. Heinrich nahe liegend, daß das Licht der Planeten und des Mondes nur zum Theil von der Reflexion des Sonnenlichtes herrühre, zum Theil aber auch durch Phosphorescenzvermögen nach Beſtrahlung. Heinrich leitet von dieſer letzten auch die längere Dauer der Abendröthe vor der Morgenröthe ab.

Wie die Beſtrahlung, ſo macht auch die Wärme eine große Anzahl von Körpern im Dunklen leuchtend und zwar werden faſt alle nach der Inſolation leuchtend werdende Körper auch durch Wärme leuchtend. Einige Körper, z. B. die Metalle leuchten nicht nach der Beſtrahlung, wohl aber nach Erwärmung. Im Allgemeinen ſind die beſten Phosphore durch Inſolation auch die beſten Leuchter durch Erwärmung und die am längſten nach der Beſtrahlung leuchtenden Körper leuchten auch durch Erwärmung am längſten. Die meiſten der ſowohl durch Beſtrahlung als Erwärmung leuchtend werdenden Körper leuchten durch Erwärmung

*) Pogg. Ann. Bd. LXIV. S. 334.

länger, als durch Insolation; nur gerade die am längsten durch Bestrahlung leuchtenden Körper, wie der Diamant und der Flußspath leuchten kürzere Zeit durch Erwärmung. Je größer der angewendete Temperaturgrad ist, desto stärker ist das Licht der Phosphoren, desto kürzer aber die Dauer desselben. — Heinrich hatte sich einen völlig gegen den Eintritt alles Lichtes verwahrten Kasten machen lassen, in welchem er, damit das Auge während der Beobachtungen nie durch ein anderes Licht, als das schwache Licht der phosphorescirenden Körper gereizt werde, so lange, als die Versuche dauerten, verweilte. Bei dieser Vorbereitung des Auges konnte er selbst sehr schwache Grade von Leuchten wahrnehmen. Die zu beobachtenden Körper wurden ihm durch einen sogleich wieder völlig dicht und von selbst sich schließenden Schieber hineingereicht. Von Grotthuß brachte bei ähnlichen Versuchen sein Auge unter die Decke eines Bettes und ließ sich dorthin die zu beobachtenden Körper in das völlige Dunkel hineinreichen, um sie mit gut vorbereitetem Auge zu beobachten. Um die Erwärmung zu bewirken, bediente sich Heinrich einer Schale von dickem Kupfer, die ihm noch glühend in den Kasten hinein gereicht wurde und auf welche er, nachdem das sichtbare Glühen aufgehört hatte, die Mineralien und andere zu untersuchende Körper legte und ihre Phosphorescenz nach Stärke, Farbe und Dauer angab; auf diese Weise hat Heinrich eine sehr große Anzahl von Beobachtungen angestellt. Die Anwendung von leuchtender Wärme muß vermieden werden, damit alle Phosphorescenz durch Bestrahlung ausgeschlossen bleibe. Durch die schwächste Temperaturerhebung wurden die Körper leuchtend, wenn man sie bei den Versuchen in Gestalt eines mäßig feinen Pulvers anwendete; übrigens richtet sich der Temperaturgrad, welcher Leuchten hervorbringt, nicht nur nach der materiellen Verschiedenheit der Körper, sondern ist auch bei den verschiedenen Individuen derselben Art verschieden. Unter allen Fossilien scheint der Flußspath dasjenige zu sein, welches bei der niedrigsten Temperatur, nämlich schon zwischen 70° und 88° C. leuchtend wird.

Bei den meisten Körpern ist das Licht sanft ausströmend; bei den Metallfeilen und einigen schweren Metalloxyden und Metallsalzen ist es funkelnd. Die Farbe des Lichtes ist mannichfaltiger, als bei der Insolation, und es läßt sich, weil sie zum Theil durch Nebenumstände bestimmt wird, nicht wohl etwas Allgemeines darüber angeben. Bemerkenswerth ist, daß derselbe Körper in den verschiedenen Phasen seines Erwärmens oder Erkaltens oft mehrere Farben successiv durchläuft, so daß es scheint, als ob er die verschiedenen Lichtstrahlen mit ungleicher Kraft festhielte. Vorzüglich zeigen die flußsauren und kohlensauren Kalkerden, der Schwerspath, Talk- und Thonerde dies Phänomen. Ein Flußspath in kleinen Fragmenten zeigt bei allmälig zunehmender Wärme der Ordnung nach folgendes Farbenlicht: mattweißlich, gelblich, grün, bläulich, violett (das Violett ausnehmend schön und anhaltend). Zwei etwas größere Stückchen erreichten das Violett nicht, sondern blieben beim Hellgrün stehen; nur das Pulver kam bis zum glänzenden Weiß hinauf, zeigte aber die Zwischenfarben nicht. (Ueberhaupt taugt Pulver zu solchen Versuchen nicht, weil es zu früh das Maximum der Phosphorescenz erreicht.) — Ein Feldspath äußerte successiv folgende Farben: schwaches Licht, gelblich, grünlich, bläulich, glänzend hell. Hiernach scheint es, daß die weniger brechbaren Strahlen am leichtesten entweichen.

Das Licht durchdringt den ganzen Flußspath, so daß man die Schichten unterscheiden kann und die ganzen Stücke wie durchsichtig erscheinen. Bei Pulver

gitized by Google

hielt die Phosphorescenz einige Minuten an und größere Stücke leuchteten 15 Minuten. Auf einem heißen Ofen leuchtet der Flußſpath Tage lang. Nach Grotthuß zeichnet ſich durch ſeine Phosphorescenz bei Erwärmung beſonders der röthlich violette Flußſpath von Nertſchinsk, der Pyroſmaragd oder Chlorophan aus. Derſelbe wird bei der Erhitzung ſmaragdgrün und nachher beim Erkalten erſt farblos, dann wieder violett; wenn er nach der Erhitzung im Tageslichte grün ausſieht und hierauf in einen verfinſterten Raum gebracht wird, ſo erſcheint er hier ſmaragdgrün und ſtärker leuchtend als alle anderen Flußſpathe *). Die meiſten Mineralien und die Schwerſpathe leuchten zwar bei der Erwärmung, verlieren aber bei hohen Temperaturen, die letzteren durch das Glühen, die Fähigkeit zu leuchten. Die Diamanten wurden bei ſehr ungleichen Temperaturen leuchtend, einige ſchon bei der Siedhitze des Waſſers, andere noch nicht bei einer Hitze von 212° C. Auch die übrigen Edelſteine leuchten zum Theil erſt in ſehr hohen Temperaturen. Topas leuchtete ſchön hellgelb; Amethyſt gepulvert leuchtete grün und gelb; orientaliſcher Granat glühendroth; Bergkryſtall wurde bei großer Hitze durchaus leuchtend. Kieſel und Sand leuchteten beſſer als gefärbte Gläſer und dieſe beſſer als weißes Glas. Von den Mineralien, deren Hauptbeſtandtheile Bittererde oder Thonerde iſt, leuchteten einige (in Geſtalt von grobem Pulver angewendet) gut, z. B. Meerſchaum, Amianth, Talk, Feldſpath u. a. Die künſtlichen Phosphore leuchten bei der Erwärmung, aber nicht eben mit ausgezeichneter Schönheit.

Oſann fand bei den von ihm verfertigten Leuchtſteinen: Antimonphosphor, Realgarphosphor, Arſenikphosphor, daß ſie trocken der Hitze des kochenden Waſſers ausgeſetzt mit der ihnen eigenthümlichen Farbe leuchteten, in kochendes Waſſer eingetaucht zwar anfangs leuchteten, aber bald erloſchen. Der Arſenikphosphor behielt auch nach dem anhaltenden Glühen ſeine Eigenſchaft leuchtend zu werden. — Bei Salzen, deren Baſen Alkalien oder Erden ſind, findet zuweilen beim Aufſtreuen auf die heiße Platte ein plötzliches Entſtehen von Lichtfunken ohne dauerndes Phosphoresciren ſtatt. Potaſche leuchtete prächtig orange, hellglänzend und dann weißlich, ſelbſt Aſche von weichem Holze leuchtete mattweiß 25 Secunden lang. Feuchte Salze leuchteten faſt gar nicht, doch ſtieg bei einem ziemlich trockenen

*) Chlorophan, der durch Glühen ſeine Leuchtkraft verloren hat, liefert durch Auflöſung in Salzſäure und Abdampfen Kryſtalle von Flußſpath, welche beim Erwärmen nicht oder ſehr wenig leuchten, während friſcher Chlorophan, oder geglühter, welchem durch den elektriſchen Funken die Leuchtkraft wiedergegeben worden iſt, auf dieſelbe Weiſe mit Salzſäure behandelt, Kryſtalle liefert, die beim Erwärmen leuchten. Bringt man geglühten oder ungeglühten Chlorophan in Salzſäure und fällt ihn durch Ammoniak, ſo leuchtet der Niederſchlag des erſteren mit ſchwach bläulichweißem, des letzteren mit lebhaft ſmaragdgrünem Lichte. Schlägt man die ſalzſaure Auflöſung des ungeglühten Chlorophans durch Schwefelſäure nieder, ſo leuchtet der erhaltene Gyps faſt ſo lebhaft als der Chlorophan, nur mit etwas anderem Lichte; fällt man gewöhnlichen ſalzſauren Kalk durch Schwefelſäure, ſo erhält man als Niederſchlag einen Gyps, welcher gar nicht leuchtet. Löſt man auf der einen Seite geglühtes, auf der anderen geglühtes und hinterher elektriſirtes Kochſalz in Waſſer auf und dampft beide Auflöſungen ab, ſo dampft letztere Auflöſung unter Auswittern ſchneller ab und liefert ein beim Erwärmen lebhafter leuchtendes Salz. Geglühtes und vor allem Lichtzutritt verwahrtes Kochſalz (nach Deſſaignes auch mehrere andere Salze) zeigt ſich durch Erwärmung ſchwach leuchtend, wenn man es mit Waſſer befeuchtet. (Ueber die Wirkung der Elektricität auf das Leuchten ſ. d. Folg.)

vegetabiliſchen Kali ein leuchtender Dampf auf und nachher leuchtete der Körper mit funkelndem Lichte. Kein Salz, das durch Erhitzen ſchmilzt, leuchtet. Kochſalz verlor durch Glühen zum Theil die Fähigkeit zu phosphoresciren, ätzendes Salz verlor ſie ganz, Salpeter dagegen leuchtete beſſer, nachdem er in einem Schmelztiegel lange Zeit flüſſig erhalten war. — Die Metallfeilſpähne geben zuweilen ein augenblickliches Glühen; kryſtalliſirter Grünſpan gab ein Funkeln und Glühen und ein Stückchen ſchien ſogar in eine ſchwache Flamme auszubrechen; Queckſilber zeigte keine Spur von Licht und ſelbſt bis zum Aufwallen erhitzt nur ſchwachen Schimmer; cubiſcher Schwefelkies kam purpurroth glühend in den Kaſten und leuchtete 25 Sec. länger als das Kupfer; grobe Körner dieſes Schwefelkieſes, auf das ſchon dunkle Kupfer ausgeſtreut, leuchteten grünlich. Bleigraues Spießglanzerz und Spießglanzglas leuchteten ſchön. Heinrich macht hierbei die Bemerkung, daß die Metalle drei verſchiedene Erſcheinungen zeigen. Erſtlich bemerkte man an den Feilſpähnen, wenn ſie auch auf dunkel heißes, nicht mehr glühendes Kupfer fallen, zuweilen ein augenblickliches Funkeln, welches man wohl als wirkliches Glühen ſo kleiner Theilchen anſehen müſſe; zweitens trete bei den geſchwefelten Metallen zuweilen ein wahres Verbrennen ein, aber drittens zeigen auch manche Metalloxyde eine eigentlich ſo zu nennende Phosphorescenz. — Unter den brennbaren mineraliſchen Subſtanzen zeichnete ſich Graphit durch ein grünliches, nachher weißliches Licht aus; Bernſtein leuchtete feurig glänzend und nachher goldgelb; Schwefel entzündete ſich. Faules Holz gerieth auf dem dunkel heißen Kupfer in förmliches Glühen; Mehl aus Mais bringt zuerſt einen augenblicklichen ſtarken Schimmer, dann ein ſchönes, ruhiges Licht hervor; auch Roggenmehl leuchtet, Stärke desgleichen. Weißes Schreibpapier leuchtet auf der dunkel heißen Platte, ohne ſich zu entzünden. Elfenbein ſprüht anfangs Funken, nachher leuchtet es mit einem ins Grünliche ſpielenden Lichte. Harte Knochen leuchten grünlich; Eierſchalen anfangs grün, dann gelblich weiß, ſelbſt ſchon bei verminderter Hitze; Pulver von Auſterſchalen anfangs grünlich, bei abnehmender Wärme gelb, zuletzt weißlich. Auch die Oele leuchten bei ſtarker Erwärmung, Terpentinöl und Steinöl hören auf zu leuchten, wenn ſie etwas unter die Siedehitze des Waſſers abgekühlt ſind, Provenceröl bei 237° C., Wachs bei 169° C. Im Allgemeinen leuchten nach Heinrich diejenigen Körper am beſten, welche am meiſten unverbrennbar und noch mit einer Säure verbunden ſind. Tropfbarflüſſige nicht brennbare Körper und eben ſo durch das Feuer ausgeglühte und ſchon ausgebrannte Körper werden nicht durch Erwärmung leuchtend. Auch die ſonſt gut leuchtenden Körper verlieren durch zu ſtarke Erhitzung ihre Phosphorescenz. Flußſpath, der durch heftiges Glühen ſeine Leuchtkraft verloren hat, erhält dieſelbe wieder, wenn man ihn mit flußſaurem Waſſer benetzt und mehrere Stunden in flußſaurem Gaſe läßt. Auf ähnliche Weiſe erhält der durch Brennen ſeiner Phosphorescenz beraubte Schwerſpath dieſelbe wieder, wenn man ihn mit verdünnter Schwefelſäure befeuchtet und trocknen läßt. Nach Deſſaignes leuchten rauhe Flächen ſtets leichter und ſtärker als polirte und manche Körper, welche polirt nicht leuchten, werden dadurch zu Phosphoren bei der Erwärmung, daß man ihnen eine rauhe Oberfläche giebt.

Außer durch Inſolation und durch Wärme kann man Körper auch durch den elektriſchen Funken leuchtend machen. Heinrich, v. Grotthuß, Pearſall*)

*) Pogg. Ann. Bd. XX. S. 252 u. Bd. XXII. S. 506. Journ. of the roy. inst.

haben vorzugsweiſe die hierauf bezüglichen Verhältniſſe der Unterſuchung unterworfen. Heinrich ließ den Funken einer geladenen Flaſche von 160 Quadratzoll Belegung zwiſchen Kugeln, die $^1/_2$ Zoll von einander entfernt waren, überſchlagen und bewirkte auf dieſe Weiſe die immer gleiche Stärke des Funkens; die in dem Verſuche zu prüfenden Körper wurden zwiſchen eine Unterbrechung der Metalldrähte, wo der Zwiſchenraum 10 bis 12 Linien betrug, auf eine Harzfläche gelegt, ſo daß der Funke ſeinen Weg über ſie nehmen mußte, und nach einer im Dunklen zweimal hinter einander erfolgten Entladung ward die Dauer des Leuchtens beobachtet. Hier zeigten ſich nun wieder die Mineralien aus dem Kalkgeſchlechte und die Schwerſpathe als vorzüglich gut leuchtend. Doppelſpath leuchtete über 6 Minuten, roher Kalkſtein 4 bis 5 Minuten, grüner Flußſpath und Schwerſpath 6 Minuten, ſchwach gebrannter Schwerſpath 8 Minuten, gebrannte Auſterſchalen 50 Minuten. Einige dieſer Körper erlangten zuerſt einen farbigen Glanz, der aber bald ins Weißliche überging.

Aus dieſen und anderen Verſuchen, welche Grotthuß anſtellte, geht hervor, daß der elektriſche Funke das Leuchten wie das Sonnenlicht durch Beſtrahlung erzeugt. Zu bemerken iſt, daß die meiſten Körper nur in der Linie leuchteten, welche den Weg des elektriſchen Funkens bezeichnete, die meiſten künſtlichen Phosphore jedoch und Zucker zeigten ſich in ausgedehnterer Breite leuchtend. Wichtiger und intereſſanter ſind dagegen die neueren von Pearſall angeſtellten Verſuche, aus denen hervorgeht, daß der elektriſche Funke im Stande iſt, das Leuchtvermögen zu erhöhen und das verlorene Leuchtvermögen der Phosphore wieder herzuſtellen. Schon Grotthuß hatte bemerkt, daß die Eigenſchaft des Chlorophans, bei gelinder Hitze leuchtend zu werden, wenn er ſie durch ſtärkeres Erhitzen verloren hatte, wieder hervorgerufen werde, wenn man dicht über ſeine Oberfläche mehrere ſtarke Funken von elektriſchen Schlägen hinwegleitet. Ein Gleiches fand Pearſall bei mehreren Kalkſpatharten und Diamanten. Auch im Allgemeinen über das Vermögen des elektriſchen Funkens Körper leuchtend zu machen hat Pearſall Verſuche angeſtellt.

Nicht allein ſolche Körper, die in ihrem foſſilen Zuſtande die Eigenſchaft haben, zu phosphoresciren, ſondern auch andere können durch elektriſche Schläge dieſe Eigenſchaft bekommen. Als Beiſpiel hiervon führt Pearſall mehrere Arten von kohlenſaurem Kalk, calcinirten Fiſchknochen und Schneckenſchalen an. Bei ſolchen, die ſchon in ihrem natürlichen Zuſtande phosphoresciren, wird dieſe Eigenſchaft durch Elektricität erhöht. Diejenigen, welche durch zu ſtarkes Erhitzen dieſelbe verloren und durch elektriſche Schläge wiederbekommen haben, phosphoresciren dann ſelten mit eben ſo ſtarkem Lichte wie vorher. Inzwiſchen hängt die Farbe viel vom (ſo zu ſagen) Lichtreichthum des phosphorescirenden Körpers ab, denn Pearſall fand, daß derſelbe Körper nach einigen elektriſchen Schlägen ſchwach leuchtete, z. B. mit purpurfarbenem Licht, nach mehreren ſtärker und mit grünem Licht, und nach 100 Schlägen oder beim Maximum ſeiner Phosphorescenz, war das Licht faſt weiß. Das durch den elektriſchen Funken erlangte Vermögen zu phosphoresciren, erhielt ſich mehrere Monate lang *). Bei dieſer Gelegenheit

---

T. I. p. 77 u. 267. Bibl. univ. T. XLV. p. 352 u. T. XLVI. p. 236. Kaſtner's Archiv. Bd. XXI. S. 357.

*) Ein, im natürlichen Zuſtande ſehr ſtark phosphorescirender Chlorophan, der bei

fand es ſich, daß gefärbte Flußſpathe, welche mit ihrem Vermögen zu phosphoresciren beim Erhitzen auch ihre Farbe verloren hatten, bei Wiederherſtellung ihrer Phosphorescenz durch elektriſche Schläge ſich öfters, jedoch nicht immer, wieder färbten, wiewohl ſelten mit derſelben Farbe, die ſie zuvor hatten. Purpurfarbener, nicht erhitzter Flußſpath wurde durch elektriſche Schläge dunkler gefärbt; der anders gefärbte aber wurde nicht verändert. Wenn ſich geglühter Flußſpath durch elektriſche Schläge färbte, ſo wurde die Farbe ſtärker an den Kanten und Ecken, ſo wie auch an den von Sprüngen gebildeten Kanten. Dieſe neu erhaltene Farbe verblich wieder leicht am Tageslicht. Die im natürlichen Zuſtand am ſtärkſten gefärbten Flußſpathe wurden auch durch Elektricität am ſtärkſten gefärbt. Die Farben variirten zwiſchen Roth, Lilla und Blau. Alle dieſe Verſuche glückten auch, wenn die angewandten Proben in Glasröhren eingeſchloſſen waren. Mit dem durch Entladung der elektriſchen Säule erhaltenen Licht konnten ſie zwar ebenfalls hervorgerufen werden, allein ſchwächer. Pearſall vermuthet, die Phosphorescenz beruhe auf einer inneren kryſtalliniſchen Structur, die ſich jedoch auch in geſchlämmtem Pulver erhalte, da ſolches beim Erhitzen phosphorescire, dies aber nach der Auflöſung und Fällung nicht mehr thue. Er fand, daß Flußſpath, wenn man ihn in Salzſäure auflöſt und durch Ammoniak wieder fällt, weder phosphorescirte, noch durch elektriſche Schläge dieſe Eigenſchaft wieder erlangen konnte. Dagegen phosphorescirten kleine Kryſtalle, die ſich beim Verdunſten der ſalzſauren Löſung gebildet hatten. Als Reſultat ſeiner Verſuche hatte v. Grotthuß angegeben, daß Flußſpath, der ſein Vermögen zu phosphoresciren noch beſaß, nach der Auflöſung und Fällung daſſelbe noch behalten hatte; daß aber ſolcher, der es ſchon vorher verloren hatte, daſſelbe nach der Auflöſung und Fällung nicht wieder bekam. S. oben S. 498 Anmerk.

E. Becquerel überzeugte ſich zunächſt, daß das durch Inſolation erzeugte Licht eines Leuchtſteines aus Schwefelcalcium und gepulverten Auſterſchalen im luftverdünnten Raume nicht ſchneller abnahm, als in der Atmoſphäre. Hierauf brachte er Pulver dieſes Leuchtſteines in einem mit einer Gypsplatte bedeckten Schälchen unter die Glocke des Recipienten, verdünnte die Luft und ließ einen elektriſchen Funken aus 18 Flaſchen darüber ſtreichen. Das phosphoriſche Leuchten war eben ſo ſtark, als wenn ſich Luft unter der Glocke befand. — Zwei neben einander ſtehende gläſerne Ballons mit langen Hälſen waren ſo eingerichtet, daß der eine mittelſt eines Hahnes auf die Luftpumpe geſchraubt und in ihm die Luft

---

Erwärmung erſt ein bläulichgrünes, ſehr helles, dann nelkenrothes mit blaſſem Weiß gemiſchtes Licht gab, wurde durch Rothglühen ſeiner phosphorescirenden Eigenſchaften gänzlich beraubt. Als darauf über denſelben ein einziger elektriſcher Schlag aus einer kleinen Leidner Flaſche von etwa 1 Quadratfuß Belegung geleitet ward, wurde das Mineral beim Uebergange der Elektricität mit grüner Farbe leuchtend, und als die ſo elektriſirte Portion erhitzt ward, phosphorescirte ſie mit grünem Lichte, faſt eben ſo ſtark, wie eine Portion des Minerals im natürlichen Zuſtande, mit dem ſie verglichen ward. Dieſer Verſuch gab bei mehrmaliger Wiederholung ſtets dieſelben Reſultate. Als wiederholte Schläge auf den durch Glühen der Phosphorescenz beraubten Chlorophan geleitet wurden, zeigte ſich, daß das Phosphorescenzvermögen mit der Zahl und Stärke derſelben zunahm, indem das bei Erhitzung ausgeſtrahlte grüne Licht nach drei, ſechs oder zwölf Schlägen dunkler und anhaltender, als nach einem einzigen Schlage ward. — Tage lang einwirkendes Sonnenlicht vermochte die durch Glühen von Chlorophan zerſtörte Phosphorescenz nicht wieder herzuſtellen. Analoge Reſultate wie am Chlorophan wurden am Flußſpath und Apatit erhalten.

verdünnt oder bis auf vier Atmosphären verdichtet werden konnte; durch die Mitte von beiden ging eine Vorrichtung von Draht, durch deren Hülfe ein und derselbe Batteriefunke von zwei Kugeln über das zum Phosphoresciren zu bringende Pulver schlug. Als Resultat der Versuche stellte sich heraus, daß der Funke in verdünnter Luft die Phosphorescenz weniger, in verdichteter stärker erregt, als unter gewöhnlichem atmosphärischen Drucke. — Wurde der Ballon mit Kohlensäure gefüllt, so war wohl ein Unterschied wahrzunehmen, aber nicht entschieden zu bezeichnen. — Ließ er den elektrischen Batteriefunken in einer Entfernung von 2 Centimetern über das Austerschalenpräparat hinstreichen, so zeigte sich doch Phosphorescenz, eben so bei einem Abstande von 1, 5, 20, 30 Centimetern; jedoch wurde mit der Entfernung die Wirkung schwächer. Bei einer Entfernung von etlichen Decimetern wird die Phosphorescenz verstärkt, wenn man die elektrischen Schläge wiederholt. Der hierbei eintretende Geruch nach Schwefelwasserstoffgas deutet auf eine vermehrte chemische Zersetzung. — Ein frei über den Phosphor in einem Abstande von 2 Centimetern hinstreichender Funke erregte ein starkes Leuchten; wurde eine 3 Millimeter dicke Glasplatte dazwischen gebracht, so war das Leuchten nur schwach, noch schwächer bei einer 8 Millim. dicken Platte, ungeachtet sie sehr durchsichtig war. Selbst eine Glasplatte von nur 1 Millim. Dicke und eine nur 0,5 Millim. dicke Platte von durchsichtiger Gallerte ließen eine nur schwache Phosphorescenz zu Stande kommen. Mit einem 2 Millim. dicken rothen Glase erhielt man gar kein Leuchten, violettes Glas wirkte wie ungefärbtes, blaues schwächer, gelbgrünes wie rothes. — Zwei Platten aus verschiedenen Substanzen, z. B. eine 3,65 Millim. dicke Glasplatte und eine 5,953 Millim. dicke Bergkrystallplatte, wurden an ihren Rändern so zusammengekittet, daß die beiderseitigen Flächen in derselben Horizontalebene lagen. Wurden diese so auf die Schälchen gelegt, daß die Verbindungslinie den elektrischen Funken unter einem rechten Winkel kreuzte und in der Mitte zwischen den Kugeln des Entladers sich befand, so zeigte sich das Pulver unter der Glasplatte fast dunkel, während das unter der Bergkrystallplatte viel stärker leuchtete. Die Phosphorescenz verschwand bald, theilte sich aber vorher der dunklen Hälfte etwas mit. Wurde der Versuch nach Umdrehung der Platte wiederholt, so zeigte sich dasselbe Resultat. Die Grenze zwischen der dunklen und leuchtenden Hälfte war scharf. Bei einer Combination von einer 3,55 Millim. dicken Glasplatte und einer gleich durchsichtigen 7,6 Millim. dicken Gypsplatte, die sehr diatherman war, zeigte sich die Phosphorescenz unter der Gypsplatte stärker, als unter der Glasplatte, sogar stärker als unter der Bergkrystallplatte. Eine Combination aus derselben Glasplatte mit einer weniger durchsichtigen 41,2 Millim. dicken, senkrecht gegen die Axe geschnittenen Platte von Bergkrystall ergab nur unter der letzteren Phosphorescenz. War das Schälchen mit Papier bedeckt, in dessen Mitte sich ein kleines Loch befand, so entstand unter diesem ein leuchtender Punkt, von welchem aus sich das Leuchten allmälig über die ganze Fläche verbreitete. Da der gebrauchte Phosphor durch die wiederholte Einwirkung des elektrischen Funkens an Empfindlichkeit zunahm, so wurde frisch bereiteter Austerschalenphosphor in die Schälchen gebracht, und bei einer Combination aus einer senkrecht gegen die Axe geschnittenen Rauchtopasplatte von 21,75 Millim. Dicke und einer klaren Glasplatte von 3,55 Millim. Dicke zeigte sich erst in 12, dann in 7 Centim. Abstand des Funkens eine merkliche Phosphorescenz unter der Topasplatte, während unter der Glasplatte nichts wahr-

zunehmen war. — Eine ſchräg gegen die Axe geſchnittene klare Rauchtopasplatte von 90 Millim. Dicke zeigte eine ſchwache, aber doch merkliche Phosphorescenz. — Wurde das Schälchen mit einer, zwiſchen zwei klaren, ſenkrecht gegen die Axe geſchnittenen Platten von Bergkryſtall eingeſchloſſenen, 3,5 Millim. dicken Waſſerſchicht bedeckt, über dieſe undurchſichtiges Papier mit einem runden Loche gelegt und ein elektriſcher Funke darüber geführt, ſo zeigte ſich unter dem Loche ein phosphoriſcher Schein.

Veranlaßt, wie es ſcheint, durch dieſe Becquerel'ſchen Verſuche experimentirte Draper noch mit anderen Lichtquellen. Wenn ein Strahl Sauerſtoff durch eine Spirituslampe auf Kalk geleitet wurde, ſo ergab ſich hinter dem Glaſe eine eben ſo ſtarke Phosphorescenz wie hinter einer Quarzplatte. Eben ſo wirkte das Licht einer Argand'ſchen Lampe durch Glas. Von dem Sonnenlichte ſtand die Thatſache ſchon vorher feſt. — Da der leuchtende Bogen zwiſchen zwei Kohlenſpitzen eben ſo wie der elektriſche Funke wirkt, ſo kann die Urſache der verſchiedenen Wirkung des elektriſchen Funkens nicht in der kurzen Dauer deſſelben liegen. Nach Draper gehört das Licht des elektriſchen Funkens den brechbarſten Strahlen des Spectrums an, während das des glühenden Kalkes die Farbe von dem entgegengeſetzten Ende hat. — Unter dem Einfluſſe eines kräftigen Elektromagneten zeigte ſich in dem Leuchten eines durch den elektriſchen Funken phosphorescirend gemachten Chlorophans, Canton'ſchen Phosphors ꝛc. keine Veränderung, das Leuchten blieb unverändert, mochte der Magnetismus erregt ſein oder nicht. — Durch den elektriſchen Funken eines Stromunterbrechers (vergl. Art. Inverſor Bd. IV. S. 114) konnte in allen bisher gebrauchten Subſtanzen Phosphorescenz hervorgebracht werden, und zwar nahm die Intenſität des Lichtes bis zu einem gewiſſen Punkte zu mit der Anzahl der Funken. — Eine Mittheilung der Phosphorescenz von einem leuchtenden Körper an einen anderen ließ ſich nicht nachweiſen. — Draper fand auch eine Varietät des Flußſpathes, die durch Sonnenſtrahlen phosphorescirend gemacht wurde. — Durch Einſchalten einer gelben Glasplatte zwiſchen die Sonne und den pulveriſirten Chlorophan wurde die Phosphorescenz verhindert, aber durch eine polirte Flußſpathplatte hindurch trat ſie ein. Wurde jedoch bei dieſem Verſuche ſtatt der Sonnenſtrahlen ein elektriſcher Funke gebraucht, ſo verhinderte der Flußſpath die Phosphorescenz.

Draper erſtreckte ſeine Unterſuchungen ferner auf die Veränderungen, welche in dem phosphorescirenden Körper eintreten. Er kam hierbei zu folgenden Reſultaten:

1) Daß die von ihm angewandten Mittel nicht empfindlich genug waren, um eine Vergrößerung der Dimenſionen eines phosphorescirenden Körpers im leuchtenden Zuſtande wahrnehmbar zu machen.
2) Daß vermittelſt des polariſirten Lichtes keine Structurveränderung bemerkbar iſt; daß eine ſolche ſich jedoch vermuthen läßt aus der Farbenveränderung bei gewiſſen Körpern, wenn ihnen die Fähigkeit zu phosphoresciren ertheilt wird, und aus der Art, wie die Dämpfe auf ihrer Oberfläche ſich condenſiren.
3) Daß die Phosphorescenz von einer geringen Temperaturerhöhung begleitet wird.
4) Daß die Phosphorescenz nicht nothwendig mit einer Elektricitätserregung verbunden iſt.

Das dritte Resultat bedingt nothwendig eine Volumenveränderung im Widerspruche mit dem ersten, folglich kann dieses erste Resultat nur an der zu geringen Empfindlichkeit der Beobachtungsmethode liegen. Wegen des Speciellen der Untersuchung müssen wir auf die Quelle selbst verweisen *).

Die interessanten Untersuchungen Draper's über die von den phosphorescirenden Körpern ausgestrahlte absolute Lichtmenge ergaben, daß dieselbe sehr gering ist, und daß insbesondere ein schönes Stück Chlorophan im Maximum des Leuchtens ein dreitausendmal schwächeres Licht giebt als die Flamme einer sehr kleinen Oellampe. Bei dieser ungemein geringen Lichtstärke ist es auch erklärlich, daß die Wärme der phosphorescirenden Körper so gering ist, und daß es kaum möglich sein dürfte, eine durch dieselbe herbeigeführte Volumenveränderung direct nachzuweisen. Hier ist natürlich nicht die Wärme gemeint, welche ein Körper zeigt, wenn er durch Erwärmung zum Phosphoresciren gebracht ist, sondern die mit dem Phosphoresciren selbst als solchem verbundene. Die über den Einfluß der Temperatur auf die Phosphorescenz angestellten Versuche ergeben sogar ein ganz bestimmtes Resultat, nämlich daß die Menge von Licht, die ein Körper zurückhalten kann und die er als phosphorescirendes Licht wieder ausströmt, im umgekehrten Verhältnisse zu seiner Temperatur steht.

Aus dem eben angeführten Resultate erklärt sich, warum der Bologneser Stein nach Du Fay lebhafter leuchtet, wenn er von indirectem, als directem Sonnenlichte bestrahlt worden ist, da er im letzteren Falle eine höhere Temperatur annimmt; eben so warum unter violetten und anderen gefärbten Gläsern, welche die Erwärmung verhindern, eine lebhaftere Phosphorescenz eintritt, als wenn gar kein Glas eingeschaltet wird. Andererseits ist man aber wieder zu dem Schlusse berechtigt, daß die Lichtmenge, die ein Körper aufnehmen kann, im directen Verhältnisse steht zu der Menge und Intensität des Lichtes, dem er ausgesetzt ist.

Zur Erklärung der Phosphorescenz hat man verschiedene Hypothesen aufgestellt. Du Fay meinte, jede Phosphorescenz sei eine Verbrennung, Lemery nahm an, daß sich die Körper gegen das Licht eben so wie gegen die Wärme verhalten, daß sie nämlich dasselbe absorbiren und wieder ausstrahlen ꝛc., Draper gelangte zu der wahrscheinlichen Ansicht, daß sich sämmtliche Phosphorescenzerscheinungen durch das Princip der Mittheilung vibratorischer Bewegung durch den Aether erklären lassen; daß das Licht der Sonne oder eines elektrischen Funkens eine schwingende Bewegung in denjenigen Körpern erregt, welche von den Strahlen getroffen werden; daß sich bei festen Körpern die Cohäsion diesen Bewegungen widersetzt, daß dieselben aber bei Gasen und Flüssigkeiten augenblicklich eintreten und fast eben so augenblicklich wieder verschwinden; daß bei Verminderung der Cohäsion eines festen Körpers in Folge einer Temperaturerhöhung die Bewegung wieder beginnen kann; und daß jedweder opake Zustand die ganze Erscheinung unmöglich macht.

Nicht nur an unorganischen Stoffen, sondern auch an organischen hat man im Dunklen ein Leuchten wahrgenommen. Bei lebendigen Pflanzen ist die Beobachtung öfters gemacht worden **); zuerst scheint aber die Tochter

*) Philos. Magaz. 4 Ser. T. I. p. 81. Krönig's Journ. Berlin 1831. Bd. I. S. 471.

**) Botanische Zeitung. 1823. S. 123.

Linné's die Erſcheinung bemerkt zu haben, welche in einer ſchwülen Gewitternacht am Tropaeolum majus ein blitzendes Leuchten ſah. Die Pflanzen, an welchen man ein derartiges Leuchten ſeitdem beobachtet hat, ſind: Lilium bulbiferum und chalcedonicum, Helianthus annuus, Tagetes patula und erecta, Calendula officinalis, Gorteria ringens, Tropaeolum majus und minus, Chrysanthemum inodorum, Oenothera macrocarpa, Phytolacca decandra *) und Polyanthes tuberosa, merkwürdiger Weiſe meiſt gelb gefärbte Blumen. Die Lichterſcheinung iſt nur während des Blühens in den Monaten Juli und Auguſt bei ſehr heißer Witterung nach Sonnenuntergang beobachtet worden, und zwar ſchien dieſelbe immer von den Geſchlechtsdecken auszugehen. Ein und dieſelbe Blume blitzt oft mehrere Male hinter einander, in der Regel vergehen aber mehrere Minuten, bis ſich ein neuer Blitz zeigt.

Außer den angeführten Pflanzen iſt noch von beſonderem Intereſſe die Rhizomorpha subterranea, welche namentlich in Steinkohlengruben auf verfaultem Holzwerke wächſt. Derſchau, Laroche und Gerhard haben an derſelben Beobachtungen gemacht **), eben ſo Nees v. Eſenbeck der ältere und jüngere, Nöggerath und G. Biſchoff ***). Unger ****) fand zu Radoboj in einer Grube das phosphorescirende Licht ſo ſtark, daß man in der Nähe vorhandene Gegenſtände zu unterſcheiden im Stande war. Er ſagt: „Es ſind nur die lichten Spitzen des verzweigten Thallus (d. h. Lager), welche jenen wechſelnden, bald ſtärkeren, bald ſchwächeren Schein verbreiten. Die anatomiſche Unterſuchung zeigt, daß dies von einer nicht unbeträchtlichen Schicht Zellengewebes herrührt, deren enge, zu einem Bündel vereinigte cylindriſche Zellen durch eine reichliche Intercellularſubſtanz verbunden ſind. Dieſe leuchtende Schichte, welche die erwähnten Spitzen weißlich erſcheinen läßt, verliert ſich faſt ganz über dieſelbe hinaus.“ — Kurze Zeit nach dem Abſterben hört das Leuchten der Rhizomorphen auf; durch Kohlenſäure wird es aufgehoben, durch Stickgas und unter der Luftpumpe unterbrochen, durch atmoſphäriſche Luft wieder hergeſtellt und durch Sauerſtoffgas verſtärkt.

Bei einigen anderen Pflanzen glaubte man auch ein phosphorescirendes Leuchten gefunden zu haben; doch hat ſich dies nicht beſtätigt. So hat Unger *****) nachgewieſen, daß der Vorkeim von Schistostega osmundacea zwar ein mildes, ſmaragdgrünes Licht entwickelt, daß dies aber durch eine eigene Reflexion und Refraction des Tageslichtes bewirkt wird, wie dies auch von Milde †) an dem Vorkeime von Farn und an den Blättern von Minium punctatum, welche andauernd von Waſſertropfen umgeben waren, beobachtet worden iſt.

Ein Beiſpiel einer in Braſilien wachſenden Pflanze, deren milchiger, bei Verletzung der Pflanze ausfließender Saft im Dunklen ſtark leuchtet, führt Mor-

*) An den Blättern dieſer Pflanze iſt das Leuchten von Szüts beobachtet worden (Trommsdorff's Journ. der Pharm. 8. 2. S. 54), ſeitdem aber nicht wieder.

**) Schweigger's Journ. Bd. XXXIX. S. 239; Bd. XLIII. S. 203; Bd. XLIV. S. 63.

***) Die unterirdiſchen Rhizomorphen, ein leuchtender Lebensproceß. Nov. Act. A. N. C. XI. P. 2. p. 603.

****) Anatomie und Phyſiologie der Pflanzen 1833. §. 203. S. 405.

*****) Flora 1834. Nr. 3.

†) Jahrb. der ſchleſ. Geſellſch. f. v. Kult. 1831. S. 82.

nay an *). Es iſt dies die Euphorbia phosphorea, über welche namentlich Martins **) nähere Auskunft giebt. — Das Leuchten von Papaver orientale hält Göthe ***) für eine optiſche Täuſchung, was jedoch Green ****) bezweifelt.

Viel öfter iſt das Leuchten abgeſtorbener Pflanzentheile beobachtet worden. Namentlich hat man häufig leuchtendes Holz gefunden. Wie es ſcheint, ſind unter geeigneten Umſtänden alle Theile der Bäume leuchtfähig, ſo wie alle verſchiedenen Holzarten phosphoreſcirend werden können. Indeß ſcheinen doch von den bei uns wachſenden Hölzern die Erle, Weide und die Fichte am meiſten der Phosphoreſcenz fähig zu ſein. Das Leuchten des Holzes tritt früher ein als die Fäulniß, aber es iſt nothwendig, daß es ſich in einem gewiſſen Grade der Feuchtigkeit befinde; je mehr es die Feuchtigkeit verliert, deſto ſchwächer leuchtet das Holz, und nachdem es zu leuchten ganz aufgehört hat, kann man ihm die verlorne Leuchtkraft durch mäßiges Benetzen mit friſchem Waſſer und Verhüllung in Papier und Leinwand wieder ertheilen. Heinrich hat gefunden, daß die Temperatur keinen weſentlichen Einfluß auf die Leuchtkraft des Holzes hat. Nur bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkte und über dem Siedepunkte hört das Holz zu leuchten auf, weil die in ihm befindliche Feuchtigkeit im erſten Falle erſtarrt, im zweiten Falle durch die Hitze in Dampfform ausgetrieben wird. — Nach Pl. Heinrich kann man ſich ſicher jederzeit phosphoreſcirendes Holz verſchaffen, wenn man die nach dem Fällen der Bäume zurückgebliebenen tiefgeſenkten Pfahl- oder Seitenwurzeln, nachdem ſie durch die Länge der Zeit abgeſtorben (ſo lange ſie Sprößlinge austreiben, ſind ſie untauglich), ausgräbt, zu Hauſe in den Keller oder ein feuchtes Behältniß legt und für mäßige Befeuchtung ſorgt. Sie werden dann unter der Rinde bald zu leuchten anfangen und lange damit fortfahren. — Will man ſich leuchtende Baumäſte verſchaffen, ſo wähle man dergleichen von einem geſunden noch vegetirenden Baume, befreie ſie von den dünnen Auswüchſen, vergrabe ſie ſammt der Rinde in mäßig feuchtes Erdreich und warte ſo lange, bis ſich an ihnen ein Anfang von Verweſung zeigt. Sie fangen dann unter der Rinde an zu leuchten. — Man kann ſich auch nach Heinrich dadurch leuchtendes Holz verſchaffen, daß man in Waldungen recht alte Holzſtumpfe, an denen ſich bereits Spuren von Fäulniß zeigen, ausſucht, die, wenn ſie auch auswärts nicht leuchten, doch wenn man ſie ausgräbt, im Innern ſehr ſchön phosphoreſciren werden. Bei einer Reihe von Verſuchen, welche Heinrich über das Leuchten des Holzes in verſchiedenen tropfbaren Flüſſigkeiten anſtellte, fand derſelbe Folgendes: Unter Waſſer und unter Queckſilber dauerte das Leuchten 24 Stunden, unter Oel 12 Stunden, unter Weingeiſt und Schwefeläther nur 10 bis 30 Minuten, ohne Zweifel, weil dieſe Flüſſigkeiten das Waſſer und die harzigen Theile des Holzes in ſich aufnehmen und alſo den Zuſtand des Holzes ſehr verändern. Säuren heben in kurzer Zeit das Leuchten auf. Daß die atmoſphäriſche Luft das Leuchten befördert, ſchließt Heinrich daraus, daß gleiche Stücke Holz, im geſperrten luftvollen Raume und in freier Luft beobachtet, un-

*) Gilbert's Ann. Bd. LVI. S. 368.
**) Reiſe nach Braſilien. Bd. II. S. 726 u. 746.
***) Kaſtner's Arch. Bd. VII. S. 181.
****) Magaz. of natur. hist. London 1832. T. V. p. 208.

gleich lange leuchteten, im gesperrten Raume kürzere Zeit; das im gesperrten Raume schon erloschene Holz fing, nach einigem Zeitverlaufe, wieder an zu leuchten, wenn man Luft zutreten ließ. Indeß leuchtete das Holz auch in sehr verdünnter Luft fort und in Sauerstoffgas nicht merklich stärker. In Stickgas leuchtete das Holz 12 bis 24 Stunden, statt daß es in freier Luft 6, auch wohl 9 Tage zu leuchten pflegte; in Wasserstoffgas verhielt es sich ungleich, zuweilen erlosch es sehr bald; in Kohlensäure leuchtete es nicht über 20 Minuten, in Salpetergas nicht über 7 Minuten. Das leuchtende Holz scheint keine Verminderung des Sauerstoffes hervorzubringen, dennoch kann man dasselbe als einen sehr langsam vor sich gehenden Verbrennungsprozeß ansehen, bei dem nur unmerkliche Quantitäten Sauerstoff nach und nach verzehrt werden. Durch Behandlung mit siedendem Wasser oder Wasser von 65° R. wird das Holz ausgelaugt und hört auf zu phosphoresciren, woraus sich ergiebt, daß das Leuchten nicht eine Eigenschaft der Holzfasern, sondern der beigemengten Bestandtheile ist, die durch das heiße Wasser ausgezogen werden. Man hat auch bei anderen Pflanzen Leuchten, kurz ehe sie zu faulen begonnen, bemerkt, so z. B. leuchten Kartoffeln beim Zerschneiden, wenn sie im Keller liegend angefangen haben auszuwachsen.

Die Ursache des Leuchtens der Pflanzen ist noch unbekannt. Einige Naturforscher sind der Meinung, daß dasselbe auf einer Phosphor haltenden Secretion (?) beruhe *). Daß bei dem Phosphoresciren des morschen Holzes ein langsamer Verbrennungsproceß vorliege, ist auch nicht sehr wahrscheinlich; man müßte denn annehmen, daß während der Zersetzung der organischen Bestandtheile eine Verbrennung stattfinde, welche wenig Wärme, aber viel Licht entwickele. Einige suchten die Ursache in Pilzen, aber Hartig **) hat das Irrthümliche hiervon nachgewiesen und gezeigt, daß das Leuchten immer von der Holzsubstanz ausgeht.

Wie lebende Pflanzen, so giebt es auch lebende Thiere, welche leuchten, doch gehören die im gesunden Zustande leuchtenden Thiere sämmtlich den niederen Thierklassen an. Man kennt bis jetzt als leuchtende Thiere unter den Infusorien: Leucophra echinoides; Trichoda triangularis, granulosa, clava und echinoides; Gleba pseudohippus, crispa, crystallina, deformis, conus und spiralis. — Zoophyten: Pennatula phosphorea, Sertularia neritina und volubilis. — Mollusken: Sehr viele Arten von Medusa, wie pellucens (Banks), scintillans und lucida (Makartney) etc.; Beroë fulgens, globosa, Brasiliensis, micans und flava; Mammaria adspersa; Nereis noctiluca und marina; viele Arten von Psyssophora und Salpa nebst den leuchtenden Eierstöcken der letzteren. — Schalthiere: Photas dactylus. — Insecten und Crustaceen: Elater noctilucus, ignitus und phosphoreus; Fulgora laternaria und candelaria; Lampyris noctiluca, splendidula und laternaria; Pausus sphaerocerus Afzel; Scolopendra electrica, phosphorea und morsitans; Cancer fulgens und macrourus; Oniscus fulgens und einige Arten von Monoculus, Amymone und Nauplius. Am bekanntesten ist der bei uns vorkommende Leuchtkäfer oder das Johanniswürmchen (Lampyris splendidula und noctiluca). Unter Johanniswürmchen versteht man gewöhnlich das Weibchen, unter Johanniskäfer das Männchen der Lampyris noctiluca. Sowohl das

*) Burdach, die Physiologie als Erfahrungswissenschaft. Bd. V. S. 184; Bd. VI. S. 584.

**) Ueber das Leuchten des weißfaulen Holzes. Botanische Zeitung. 1853. 2. Stück.

Digitized by Google

Männchen, als auch, und zwar noch ſtärker, das Weibchen phosphoreſcirt bei dieſem Thiere an einigen Stellen unter den letzten Bauchringen. Nach Pl. Heinrich jedoch bemerkt man am Weibchen des Johanniswürmchens außer den am ſtärkſten lichten Stellen am ganzen Leibe ein ſchwaches, aber doch ausdauerndes Licht. Oeffnet man den Hinterleib eines Leuchtkäfers, ſo findet man, daß das Leuchten vermittelſt einer beſonderen Einrichtung hervorgebracht wird. Auf der Innenſeite der drei Endringe entdeckt man eine gelblichweiße, halbdurchſichtige Materie, welche unter dem Mikroſkop eine merkwürdige Bildung aus kleinen ſtark verzweigten Faiern zeigt und im Dunklen lebhaft leuchtet. Iſt das Innere eines Ringes dieſer Subſtanz beraubt, ſo leuchtet es nicht mehr. Die Phosphoreſcenz wird überhaupt äußerlich nur vermöge der ausnehmenden Durchſichtigkeit der Bedeckungen ſichtbar. Man bemerkt bei den Verſuchen mit dieſen Thieren deutlich, daß die Phosphoreſcenz derſelben von ihrer Willkür abhängt. Geräuſch und Bewegung ſcheinen, wenn auch nicht immer, doch oft, das Inſect zum Verdunkeln ſeines Lichtes zu veranlaſſen. Eben ſo ein plötzlicher Schlag, den es erhält, indeß ſich das Leuchten zu vermehren ſcheint, wenn man den Leuchtkäfer mit wiederholten leichteren Stößen beunruhigt. Mangel an Nahrung, Gewitter und das Licht einiger Kerzen ſcheinen keinen merklichen Einfluß auf die freiwillige Phosphoreſcenz zu äußern. Wenn der Leuchtkäfer freiwillig ſein Licht verdunkelt, ſo findet ſich immer, daß das Phosphoreſciren nach und nach abnimmt, und zwar beginnt dieſes Abnehmen von dem vorderſten, dem Kopfe nächſten Ringe, und von hier aus geht die Verdunkelung nach und nach weiter. Die Verdunkelung iſt bisweilen vollkommen, zu anderen Zeiten bleibt ein ſchwaches Licht an den beiden Punkten des Endringes zurück. Das Mittel, vermöge deſſen der Leuchtkäfer ſein Licht verdunkelt, ſcheint eine rein nervöſe Einwirkung zu ſein; wenigſtens geſchieht es nicht mittelſt Ueberziehens einer Haut. Man findet in der That bei anatomiſcher Unterſuchung des Lampyris-Weibchens mehrere röthlich-weiße Nervenfäden, die ſich in das leuchtende Organ vertheilen. Das freiwillige Leuchten der Johanniskäfer bemerkt man nur Nachts. Bei Tage liegen ſie in einer Art Schlaf; ſticht man ſie aber mit einer Nadel, ſo kann man auch hier bei Tage ein ſchwaches Licht bemerken (Heinrich). — Sehr viel trägt zum Leuchten die Bewegung bei, daher ſich das Leuchten des Männchens im Fluge und des Weibchens im Kriechen am ſchönſten ausnimmt. Bei jeder Schwingung des Körpers ſcheint ſich das Licht zu entzünden und zur Zeit der Ruhe größtentheils zu verlöſchen. — Bei dem Männchen der Lampyris italica bemerkt man an den leuchtenden Ringen des Bauches eine zitternde Bewegung, mit deren Zunahme der Glanz zunimmt und mit deren Abnahme derſelbe ſchwächer wird. — Erhöht man die Temperatur, in welcher Leuchtkäfer ſich befinden, bis zu gewiſſem Grade, ſo zeigt ſich die Phosphoreſcenz ſogleich, und dauert ſo lange, als die Wärme auf demſelben Grade erhalten wird, ſowohl unter Waſſer, als in der Luft. Einen ähnlichen verſtärkenden Einfluß äußert die Erwärmung auch nach dem Tode. — Trennt man den Kopf einer freiwillig leuchtenden Lampyris oder die drei leuchtenden Ringe ab, ſo wird das Licht nach und nach ſchwächer und nach 5 Minuten iſt es völlig verſchwunden; aber nach einigen Minuten erhalten die leuchtenden Ringe wieder Bewegung und die Phosphoreſcenz erſcheint von neuem, aber mit immer weit minderem Glanze, und hält ſchwach 2 bis 3 Tage an; erſt beim Erwärmen des Thieres erhält das Licht wieder Glanz und ein lebhaftes Phosphoreſciren tritt dann auf

der Stelle ein. Dieſe Erſcheinung läßt ſich, ſo oft man will, während zwei bis drei Tagen wiederholen; ſpäter kann man ſie nicht wieder hervorbringen. Auf gleiche Weiſe erhält auch ein natürlich geſtorbener Leuchtkäfer während deſſelben Zeitraums eine ſchwache im Dunkeln ſichtbare Phosphorescenz. — Im luftleeren Raume und in irreſpirabeln Gasarten verliſcht das Leuchten, ſcheint dagegen in Sauerſtoffgas an Lebhaftigkeit zuzunehmen. Unter Waſſer dauert es bei einiger Erwärmung fort, verliſcht dagegen unter Mineralſäuren und Alkohol und überhaupt unter allen Umſtänden, unter welchen Eiweiß geronnen zu werden vermag, wie denn wirklich Macaire *) aus der Geſammtheit ſeiner Verſuche das Reſultat zieht, daß die leuchtende Materie eine eiweißartige Subſtanz ſei. Sie iſt nach demſelben eine an der inneren Fläche der drei hinterſten Bauchringe liegende, gelblich weiße, halbdurchſichtige Materie, welche beim Eintrocknen undurchſichtig wird und zu leuchten aufhört, in der Hitze und durch Säuren gerinnt, mit Horngeruch verbrennt und einen ſchwach ammoniakaliſchen Rückſtand läßt; nach Todd **) iſt ſie urſprünglich körnig und zwiſchen eine Verbreitung von Nervenfäden gelagert; nach Carradori ***) hat ſie einen Knoblauchgeruch. — Dunkle Leuchtkäfer, der Einwirkung des elektriſchen Stroms einer Elektriſirmaſchine ausgeſetzt, erlitten keine bemerkbare Veränderung. Ein ſtarker Entladungsſchlag einer Leidner Flaſche oder mehrere wiederholte brachten eben ſo wenig Leuchten hervor. Dagegen wurde ein lebendiger dunkler Leuchtkäfer in dem Volta'ſchen Strom einer geſchloſſenen Säule ſchwach leuchtend. Das Thier wurde mit einigen Tropfen Waſſer zwiſchen zwei Platindrähten in die Kette gebracht. Im Augenblick des Schließens derſelben begann das Leuchten und hielt an, ſo lange die Schließung dauerte. Berühren mit nur Einem Poldrahte war ohne Wirkung; Berühren mit beiden, an welchem Theile des Körpers es ſein mochte, erzeugte Leuchten. Im Augenblick der Oeffnung der Kette erloſch das Licht, und es leuchtete ſogleich von Neuem, wenn man die Kette wiederum ſchloß. Auch nach dem Tode des Thieres bringt der Galvanismus Leuchten hervor, doch blos wenn man die Körner der Leuchtmaterie, nicht, wenn man andere Theile des Thieres in die Kette bringt, auch nicht im luftleeren Raume. — Nach Macartney ****) ſteigt das Thermometer in Berührung mit den leuchtenden lebenden Käfern; aber nicht in Berührung mit den abgetrennten leuchtenden Theilen des Schwanzes.

Beſonders merkwürdig wegen der Großartigkeit der Erſcheinung, die ſie hervorbringen, ſind die leuchtenden Seethiere, die in großer Menge vorhanden das oft beobachtete Leuchten des Meeres bewirken. Am auffallendſten iſt die Erſcheinung in den warmen Klimaten, und ſie zeigt ſich beſonders in den dunklen Nächten, wenn das Waſſer durch ein Ruder, ein Schiff oder durch ſonſt eine Urſache in Bewegung geſetzt wird. Die Araber nennen dies Leuchten Kandil al Bahr, d. h. Seelaterne. Ehrenberg widmete demſelben auf dem rothen Meere ſeine beſondere Aufmerkſamkeit, konnte aber lange nicht herausbringen, wie das Licht hervorgebracht würde. Endlich, nachdem er Waſſer mit Infuſionsthierchen und Anneliden (kleines Gewürm) unter das Mikroſkop gebracht hatte, bemerkte er zu

*) Gilbert's Ann. Bd. LXX. S. 265. v. Froriep's Notizen. Bd. I. S. 33.
**) v. Froriep's Notizen. Bd. XV. S. 4.
***) Gilbert's Ann. Bd. I. S. 203.
****) Gilbert's Ann. Bd. LXI. S. 115.

Digitized by Google

seinem Erstaunen, daß der Schimmer, der sie umgab, nichts sei, als eine Anzahl von Funken, die aus jedem Theile ihres Körpers, besonders aus den Anneliden, ausströmten. Diese Funken, welche schnell auf einander folgten, glichen den gewöhnlichen elektrischen, so daß Ehrenberg nicht anstand, sie dafür zu erklären. Er überzeugte sich auch, daß das Licht nicht einer in ihrem Körper vorgehenden Absonderung zuzuschreiben, sondern eine Handlung ihres Willens und zwar im gereizten Zustande sei. Wie bei dem Torpedo (Art. Fische, elektrische Bd. III. S. 207) fing die Ladung immer wieder nach einiger Ruhe an. Aus der Aehnlichkeit der Wirkung läßt sich auf die Identität der Ursachen schließen, und da die Elektricität des Torpedo nicht mehr zu bezweifeln ist, so muß man annehmen, daß die Elektricität auch die Ursache des Leuchtens bei den Infusionsthierchen und Anneliden ist. Es erklärt sich hieraus, warum das Leuchten des Meeres im bewegten Wasser am stärksten ist, und warum es auch bei gewitterhafter, stiller, warmer Luft besonders lebhaft eintritt. In den höheren Thierklassen giebt es wenige oder keine leuchtende Geschlechter; doch kommen Beispiele von leuchtendem Schweiße und Harne von Menschen vor *). Die Eier der Eidechsen leuchten **).

Todte thierische Körper werden sehr häufig leuchtend gefunden, und besonders zeichnen sich in dieser Beziehung die Fische aus. Diese leuchten in der See nur vermöge ihnen anhängender Gewürme. Wenn man sie aus der See bringt und tödtet, pflegen sie auch den ersten Abend noch nicht zu leuchten, sondern erst am zweiten Abende beginnt das Phosphoresciren, und zwar leuchtet zuerst nur der Kopf, namentlich die Augen, später erst Bauch und Schwanz. Gekochte oder eingesalzene Fische leuchten nicht, aber Besprengen mit Wasser scheint den Glanz leuchtender Fische zu erhöhen. Die Fische leuchten nur so lange, als sie feucht bleiben, und das Licht zeigt sich am schönsten an Ecken und Winkeln, z. B. an den Ohren, Kiemen ꝛc. Hulme ***) fand, daß Heringe und Makrelen in den zwei ersten Tagen, nachdem sie vom Markte gebracht, am schönsten leuchteten und dann in 4 bis 6 Tagen allmälig ihre Leuchtkraft verloren. Im Winter währte das Leuchten, weil die Fäulniß später eintritt und mit zunehmender Fäulniß das Leuchten abnimmt, oft gegen 14 Tage. Nach Dessaignes leuchten vorzüglich die Aponeurosen, Ligamente, Kapseln, Milchen, überhaupt die schleimigen Theile, nicht die muskulösen; die inneren Theile fingen erst an zu leuchten, wenn sie einige Zeit der Luft ausgesetzt waren. Es schwitzt aus den Thieren ein anfangs klarer flüssiger Schleim aus, welcher zähe und trübe und damit auch leuchtend wird. Dieser leuchtende Schleim läßt sich über die Finger verbreiten, welche selbst dadurch leuchtend werden, auch kann er durch Maceration mit Wasser oder salzigen Flüssigkeiten den Fischen entzogen und so getrennt als leuchtende Flüssigkeit dargestellt werden, die es oft mehrere Tage lang bleibt, und besonders beim Rütteln eine verstärkte Phosphorescenz zeigt.

Aus allen zuverlässigen Resultaten seiner und anderer Erfahrungen über die thierische Phosphorescenz ergeben sich nach Heinrich folgende Hauptsätze:

*) Gilbert's Ann. Bd. XLIX. S. 291.
**) Schweigger's Journ. Bd. XXX. S. 233.
***) Gilbert's Ann. Bd. XII. S. 152.

a) In allen ſechs Klaſſen des Thierreiches giebt es viele (?) Individuen, welche die Eigenſchaft beſitzen im Finſtern zu leuchten; einige bereits im Leben, andere erſt nach dem Tode, einige ſtärker, andere ſchwächer, einige länger, andere kürzer.

b) So verſchieden auch die Natur dieſer Individuen iſt, ſo hält doch bei allen die Phosphorescenz in der Hauptſache denſelben Gang, und es erfolgen überall unter gleichen Umſtänden ganz ähnliche Erſcheinungen.

c) Immer geht das freiwillige Leuchten der eigentlichen Fäulniß voran, und jenes nimmt ab, wie dieſe wächſt. Je geneigter übrigens die thieriſche Subſtanz zur Verweſung iſt, deſto williger ſtellt ſich, alles übrige gleich geſetzt, die Phosphorescenz ein.

d) Der freiwillig ausbrechende Leuchtſtoff, was er immer ſein mag, hat ſeinen Sitz nicht in den feſten, ſondern in den flüſſigen Theilen des Thieres, z. B. nicht in den Knochen und den Muskelfaſern, ſondern in den Feuchtigkeiten. Jene feſten Theile bleiben während des Leuchtens unzerſetzt.

e) Der Leuchtſtoff ſcheint ſich im Innern der thieriſchen Maſchine zu entwickeln, in Verbindung mit einer klebrichten Feuchtigkeit auf die Außenfläche zu bringen und ſo in die umgebende Luft auszubrechen; ein Beweis, daß im Innern bereits eine Zerſetzung vor ſich geht, wenn auch für unſere Sinne noch keine Spur von Fäulniß da iſt.

f) Mittelſt dieſer klebrigen Subſtanz kann man den Leuchtſtoff vom thieriſchen Körper trennen, und anderen Materien, vorzüglich manchen Flüſſigkeiten, z. B. dem Waſſer, der Milch, mittheilen, wodurch dieſe gleichfalls auf einige Zeit leuchtend werden.

g) Der Leuchtſtoff iſt flüchtiger als die ſchleimige Subſtanz, mit der er verbunden iſt.

h) Durch Austrocknen und gelindes Dörren phosphoriſcher Theile des Thieres kann man zwar ihr wirkliches Leuchten hemmen, aber die Fähigkeit hiezu erhält ſich und geht mittelſt einer geſchickten Anfeuchtung neuerdings in Wirklichkeit über. Durch Auslaugen hingegen mit ſiedend heißem Waſſer wird alle Fähigkeit zu leuchten vernichtet; ſo auch durch ſtarke Säuren und geſättigte Salzauflöſungen.

i) Feuchtigkeit, mäßige Temperatur und Zutritt der äußeren Luft haben auf dieſe Phosphorescenz einen entſchiedenen Einfluß, und es ſcheint dabei ein ſchwacher Gährungsproceß vorzugehen. Kein thieriſcher Körper leuchtet in ganz trockenem Zuſtande, ſo wie kein durch Kälte erſtarrter. Keiner ſetzt das Leuchten fort ohne alles Daſein atmoſphäriſcher Luft, allein ſchon ein äußerſt geringer Antheil dieſer Luft iſt hinreichend, den Leuchtproceß lange Zeit zu unterhalten; daher er ſelbſt im möglichſt verdünnten Raume der Luftpumpe nie ganz und gar verſchwindet, und ſogar unter Waſſer noch lange fortdauert.

k) In keiner ganz unathembaren Luftart geht dieſes Leuchten vor ſich. Nur von der Schwierigkeit vollkommen reine Gaſe zu bereiten, ſcheint es herzurühren, daß das Leuchten auch in mephitiſchen Luftarten noch eine Zeitlang aushält, wenn es ſchon früher angefangen hat.

l) Bei lebendigen Thieren ſowohl, als bei leuchtenden Flüſſigkeiten iſt die Bewegung dem Leuchten gedeihlich, manchmal ſogar nothwendig, vielleicht nebſt anderen Umſtänden auch darum, weil durch Bewegung die Berührungspunkte

zwiſchen der phosphoriſchen Subſtanz und der Luft vermehrt und gewechſelt werden.

m) Durch niedrige Temperatur, wenn ſie nur nicht unter den Gefrierpunkt des Waſſers fällt, wird das freiwillige Leuchten der Dauer nach verlängert, der Intenſität nach aber geſchwächt; bei höherer Temperatur hingegen gewinnt das phosphoriſche Licht an Helle, und verliert zugleich an Dauer.

n) Bei den verſchiedenen Gattungen leuchtender Thiere ergeben ſich zwei auffallende Unterſchiede: der eine in Hinſicht des Subjectes und ſeines Körperbaues, der andere in Hinſicht des Elementes, in welchem das Thier lebt und woraus es ſeine Nahrung zieht. Thiere nämlich von ſehr zartem Körperbau, ohne eigentliche Muskelfaſern und Knochen, ſind zu dieſer Phosphorescenz ſo ſehr geneigt, daß man ſie an ihnen ſchon bei Lebzeiten und vollkommener Geſundheit bemerkt, was bei kraftvollen Thieren höherer Ordnung erſt nach dem Tode eintritt.

o) Nicht geringer iſt der Unterſchied zwiſchen Thieren derſelben Gattung, je nachdem ſie Bewohner des Meeres, der ſüßen Gewäſſer oder des feſten Landes ſind, indem die erſten ohne Ausnahme lebendig oder todt, und zwar mit vorzüglicher Pracht leuchten, die letzteren zwei aber höchſt ſelten freiwillig und ohne Vergleich ſchwächer phosphoresciren. Es ſcheint daher, das Seewaſſer habe als Nahrungsmittel einen günſtigen Einfluß auf das Leuchten, und es trage dazu bei, die Seethiere zum Phosphoresciren geſchickter zu machen.

p) Durch Salz und ſchwache Salzauflöſungen kann man das Fleiſch ſolcher Thiere zum Leuchten bringen, die ſich von freien Stücken nicht dazu bequemen wollen.

q) Beim Ueberblicke des Ganzen ergiebt ſich zwiſchen See- und Landthieren folgende Harmonie. Unter den Seethieren leuchten am ſchönſten und häufigſten die zarten Mollusken und Würmer; hierauf kommen die etwas kräftigeren Schalthiere; dann die Fiſche und zuletzt, wie man vermuthen könnte, die warmblütigen Thiere des Meeres, ob uns wohl hierüber noch die Beobachtungen mangeln. Unter den Thieren des feſten Landes kommen gleichfalls zuerſt die zarten Würmer und Inſecten, hierauf die Fiſche und Amphibien, endlich das Fleiſch der warmblütigen Thiere. Die Thiere der erſten Klaſſe leuchten bereits lebendig, die der anderen in der Regel nie anders als nach dem Tode; in der Mittelklaſſe giebt es einige lebendig, andere nur todt leuchtende.

r) Bei den meiſten (vielleicht bei allen) lebendig leuchtenden Thieren iſt das Leuchten örtlich, und wie es ſcheint auch periodiſch, das heißt, es ſchränkt ſich entweder gänzlich auf einen beſtimmten Theil des Körpers ein, oder es zeigt ſich an gewiſſen Stellen vorzüglich ſchön, welche mit dem Lebensende verſchwinden oder ſich vor anderen Theilen nicht mehr auszeichnen. Bei den Würmern und Inſecten des feſten Landes ſcheint es ſich vorzüglich zu gewiſſen Jahreszeiten oder in einer beſtimmten Lebensperiode einzuſtellen. Dieſer Umſtand hat auch auf das Leuchten nach dem Tode Einfluß *).

*) Von den Subſtanzen, welche bei vielen niederen organiſchen Weſen, während des Lebens, jedoch nicht immer, ſondern unter gewiſſen Umſtänden, leuchten ſollen, handelt ausführlich Gfr. Reinh. Treviranus in: Biologie oder Philoſophie der lebenden Natur. Göttingen 1802—1822. Bd. V. S. 82—116.

Sehr bekannt ist die Behauptung, daß die Augen verschiedener Thiere im Zustande der Aufregung, namentlich der Katzen, Hunde, vieler Raubthiere im Finstern leuchten sollen. Neuerdings hat man aber hieran gezweifelt und geläugnet, daß in völliger Dunkelheit ein Leuchten der Augen stattfinde, vielmehr ist man der Ansicht, daß das allerdings nicht zu bestreitende Leuchten herrühre von einer Reflexion des äußeren Lichtes von dem glänzenden Tapetum des Auges *). Voigt sagt: „Eigenes Licht strahlen sie nicht aus, und glänzen vielmehr, bei gehöriger Wendung, noch eben so nach dem Tode." Rengger hat jedoch beim Leuchten der Augen mehrerer Thiere in Süd-Amerika, unter denen manche dies Licht stärker als die Augen unserer europäischen Hausthiere zu verbreiten scheinen, Umstände wahrgenommen, die (wie Treviranus bemerkt) mit jener Annahme nicht zu vereinbaren sind. Bei einem Nachtaffen (Nyctipithecus trivirgatus) bemerkte er das Licht nur bei großer Finsterniß, und dieses hatte eine solche Stärke, daß Gegenstände, die in einer Entfernung von anderthalb Fuß vor den Augen des Affen lagen, sich vermittelst desselben unterscheiden ließen. Bei einem blinden Canis Azarae, der an einer Amaurose zu leiden schien, leuchteten die Augen nicht mehr, und bei einem anderen, dem die Krystalllinse des einen Auges verdunkelt war, gab dieses Auge dann noch am Rande der Pupille einen, doch nur schwachen Schein, wenn sich die letztere sehr erweiterte. Die Lichterscheinung hörte auch nach Durchschneidung und selbst schon nach Verletzung der Sehenerven auf; hingegen Verletzungen der Hornhaut und der Iris hatten darauf keinen Einfluß. Sie trat nur dann ein, wenn ein Eindruck auf das Gesicht oder Gehör die Aufmerksamkeit des Thieres erweckte, oder wenn ein Trieb oder eine Leidenschaft dasselbe aufregte. Es scheint hiernach im Hintergrunde des Auges jener Thiere eine Lichtentwickelung stattzufinden, die unter dem Einflusse des Nervensystems steht. Ob sie aber von der Einwirkung der Sehenerven oder von der der Ciliarnerven abhängt, darüber läßt sich aus Rengger's Beobachtungen nicht entscheiden; denn bei den Versuchen mit der Durchschneidung oder Verletzung der Sehenerven blieben gewiß auch die Ciliarnerven nicht unbeschädigt. Daß durch die glänzende Tapete des Auges die Stärke des Lichtes vermehrt wird, ist nicht zu bezweifeln. Unmöglich (?) aber ist es, daß sie in dem kleinen Auge des erwähnten Affen und in großer Finsterniß blos durch Zurückwerfung äußeren Lichtes einen anderthalb Fuß weit entfernten Gegenstand sollte erhellen können.

C. Optische Erscheinungen im Allgemeinen.

Von jedem Körper, den wir mit unserem Auge wahrnehmen, muß Licht ausgehen; man unterscheidet aber zwischen solchen Körpern, welche die Quelle des Lichtes in sich selbst haben: leuchtende Körper, und solchen, bei denen dies nicht der Fall ist: dunkle Körper, die also an sich unsichtbar sind und nur, indem Licht von anderen Körpern auf sie fällt und von ihnen zurückgeworfen in unser Auge gelangt, gesehen werden, in welchem Falle sie beleuchtete oder Licht zurückwerfende, Licht reflectirende Körper heißen.

*) Voigt, Zoologie, Stuttgart 1835. Bd. I. S. 277. Burdach, Physiologie. Bd. VI.

Das Licht, welches von einem Körper, als von ſeiner Quelle oder durch Zurückwerfung, ausgeht, kann, ſobald es auf einen dunklen Körper auffällt, entweder durch den Körper ungehindert hindurchgehen, oder ganz zurückgeworfen, oder vollſtändig aufgehalten werden. Keiner dieſer drei Fälle, die wir vielmehr nur als die Extreme aufzufaſſen haben, kommt indeſſen rein in der Wirklichkeit vor, ſondern ſtets wird ein Theil in das Innere des getroffenen Körpers eindringen, ein anderer Theil wird von der Oberfläche zurückkehren und ein dritter Theil wird für das Auge verloren gehen. Im letzten Falle ſagt man, daß das Licht abſorbirt ſei, im zweiten Falle nennt man das Licht reflectirt oder zurückgeworfen oder zurückgeſtrahlt. Geht das Licht durch den getroffenen Körper hindurch, d. h. durchſtrahlt es denſelben, ſo heißt der Körper durchſichtig und wird in dieſer Beziehung ein Medium (Mittel) genannt. Den Gegenſatz der durchſichtigen Körper bilden natürlich die undurchſichtigen, welche kein Licht durch ſich hindurchlaſſen. Man unterſcheidet mehrere Grade der Durchſichtigkeit, vom Durchſchimmern, Durchſcheinen, Durchleuchten u. ſ. f. bis zur klarſten Durchſichtigkeit, je nachdem man die Licht ausſendenden Körper durch dieſe hindurch in mehr oder weniger deutlichen Umriſſen erkennt. Ein vollkommen durchſichtiger Körper würde in Beziehung auf das Licht ſo gut, wie gar nicht vorhanden zu betrachten ſein, er würde deshalb keinen Schatten werfen und auch unſichtbar ſein.

Bewegt ſich das Licht durch ein durchſichtiges Mittel, welches ſich in jeder Beziehung gleich bleibt, ſo geht das Licht geradlinig fort und ändert ſeine Richtung nicht, ſo lange es in demſelben Mittel bleibt. Von dem geradlinigen Fortgange des Lichtes kann man ſich leicht überzeugen, wenn man einen leuchtenden Punkt durch mehrere kleine Löcher betrachtet, welche ſich in mehreren hinter einander liegenden undurchſichtigen, zwiſchen dem Auge und dem leuchtenden Punkte ſtehenden Körpern, z. B. Bretchen von Holz, befinden. So lange dieſe Bretchen ſo geſtellt ſind, daß eine vom leuchtenden Punkte nach dem Auge gehende gerade Linie durch ſämmtliche kleine Löcher hindurch geht, erblickt das Auge den leuchtenden Punkt, derſelbe verſchwindet aber alsbald, ſo wie eines der Bretchen eine kleine Verrückung erfährt. Ferner verſchwindet ein leuchtender Punkt, welcher in der Verlängerung paralleler und in einer Ebene geſpannter Seidenfäden liegt, dem Auge, welches ſich in derſelben Ebene befindet, erſcheint aber alsbald, wenn man das Auge nur im Geringſten aus dieſer Ebene verrückt. Daß das Abſtecken gerader Linien mit Hülfe von ſich deckenden Stangen hierauf beruht, bedarf kaum der Erwähnung. — Die Linie, in welcher die Wirkung des Lichtes eines leuchtenden Körpers ſich fortpflanzt, heißt Lichtſtrahl.

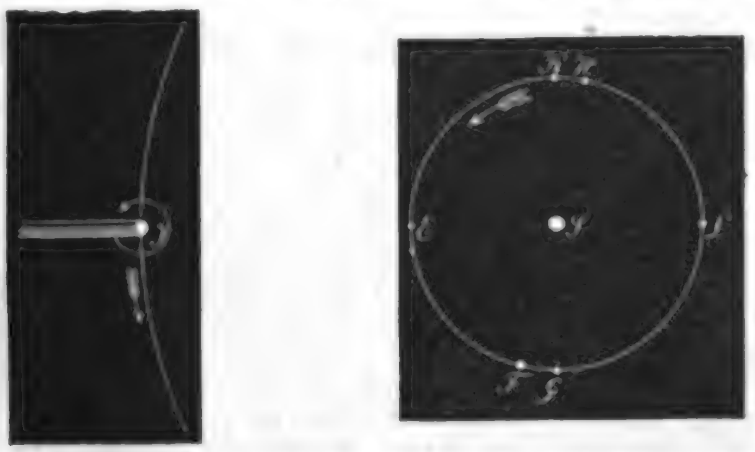
Ein leuchtender Punkt ſendet nach jeder Richtung hin geradlinige Lichtſtrahlen aus, und ein leuchtender Körper entſendet eben ſo von jedem ſeiner Punkte aus nach jeder Richtung hin unzählige geradlinige Strahlen, woher es kommt, daß man einen durchaus leuchtenden Körper, z. B. die Sonne, im Raume überall erblickt, ſobald nicht ein für das Licht undurchdringlicher Körper in gerader Richtung zwiſchen dem leuchtenden Körper und dem Beobachter ſich befindet, wie es z. B. bei den Sonnenfinſterniſſen iſt, wo der Mond als hindernder Körper dazwiſchen tritt.

Wird ein dunkler Körper von dem Lichte eines leuchtenden Körpers beleuchtet, ſo hängt die Stärke dieſer Beleuchtung ab von der Stärke des Lichtes des

leuchtenden Körpers, von dem Abſtande beider Körper von einander und von dem Winkel, unter welchem die Lichtſtrahlen auf den dunklen Körper fallen. Hiermit beſchäftigt ſich näher die Photometrie, weshalb wir auf dieſen Artikel verweiſen.

Bei keiner der auf der Erde ſelbſt auftretenden Lichterſcheinungen können wir eine Bewegung des Lichtes in der Art wahrnehmen, daß eine gewiſſe Zeit von dem Ausgange des Lichtes von ſeiner Quelle bis zu dem Augenblick vergehe, wo das Licht in unſer Auge dringt. Hieraus folgt indeſſen noch nicht, daß das Licht ſich momentan fortpflanzt, d. h. daß das Licht ſtets gleichzeitig an dem Orte ſeines Urſprungs und an jedem beliebig weit von jenem entfernten Orte ſei; ſondern die Geſchwindigkeit des Lichtes kann für die Entfernungen auf der Erde zu bedeutend ſein. Und ſo iſt es in der That; denn das Licht durchläuft in einer Secunde ungefähr 42000 Meilen, es beſitzt alſo eine Geſchwindigkeit, welche für alle Entfernungen auf der Erde, deren Durchmeſſer nur 1719 Meilen beträgt, viel zu groß iſt, als daß man ſie an ihnen direct meſſen könnte. Die Kenntniß der Geſchwindigkeit des Lichtes verdanken wir den Beobachtungen der Verfinſterungen der Trabanten des Jupiter. Wegen des ſehr großen Durchmeſſers dieſes Planeten und der verhältnißmäßig geringen Entfernung, in welcher die vier Monde denſelben umkreiſen, gehen dieſe Monde, mit Ausnahme des entfernteſten derſelben, bei jedem Umlaufe um den Hauptplaneten durch den Schatten deſſelben hindurch und erleiden mithin eine Verfinſterung. Da man ſeit Erfindung der Fernröhre dieſe Trabanten ſorgfältig beobachtet hat, ſo kennt man den Augenblick, in welchem eine ſolche Verfinſterung eintreten und aufhören muß, und die Zwiſchenzeiten von einer Verfinſterung bis zur anderen vollkommen genau; dieſe Zwiſchenzeiten aber ſind es eben, welche uns Gelegenheit geben, die Geſchwindigkeit des Lichtes zu ermitteln.

Der erſte — dem Hauptplaneten nächſte — Jupitersmond tritt nach immer gleichen Zwiſchenzeiten, die Umlaufszeit beträgt nämlich $42^h\ 28'\ 35''$, aus dem Schatten oder in den Schatten des Jupiter J (ſ. beiſtehende Figur), und wenn man



dieſe Verfinſterungen, während die Erde in E — der Oppoſition des Jupiter — iſt, beobachtet, ſo ſieht man ſie immer nach den berechneten Zwiſchenzeiten eintreten oder aufhören. Hier bei E nämlich bleibt die Erde mehrere Tage lang dem langſam fortrückenden Jupiter J ziemlich gleich nahe, und das Licht hat daher bei

allen Verfinſterungen gleich lange Zeit nöthig, um zu uns zu gelangen, ſo daß wir, obgleich der Anfang und das Ende der Verfinſterung von uns ſpäter geſehen wird, als es in Wirklichkeit iſt, doch dieſen Zeitverluſt in der Zwiſchenzeit des Anfangs oder Endes der Verfinſterungen nicht wahrnehmen. Iſt hingegen die Erde nach G — in den der Oppoſition folgenden Quadranten — gekommen, wo ſie ſich von F nach G vom Jupiter täglich mehr entfernt, ſo verſpätet ſich das beobachtete Ende der Verfinſterung bei jeder folgenden Verfinſterung immer mehr. Es vergrößert ſich nun in der Zeit von $42^h\ 28'\ 35''$ die Entfernung der Erde vom Jupiter, da die Erde in jeder Secunde ungefähr $4^1/_7$ Meilen auf ihrer Bahn zurücklegt, um etwa 630000 Meilen; gebraucht alſo der erſte nach der Verfinſterung von dem Monde ausgehende Lichtſtrahl eine gewiſſe Zeit, um nach F zu gelangen, ſo braucht er bei der folgenden Verfinſterung etwas mehr Zeit, um nach G zu kommen, und die Zwiſchenzeit des Endes der Finſterniſſe iſt daher größer. Dieſe Vergrößerung der Zwiſchenzeit beträgt ungefähr 15 Secunden und ſo viel Zeit verwendet alſo das Licht, um 630000 Meilen zu durchlaufen. Die entgegengeſetzte Beobachtung findet ſtatt, wenn die Erde ſich in der entgegengeſetzten Stellung, in der Gegend HK ihrer Bahn befindet, weil ſie ſich dann dem unterdeß langſam fortrückenden Jupiter nähert; hier ſehen wir den Anfang jeder folgenden Verfinſterung etwas eher eintreten, und der Zeitunterſchied iſt eben ſo der unterdeß erfolgten Annäherung der Erde zum Monde angemeſſen, wie im erſteren Falle der größer werdenden Entfernung. Indem wir ſo zu der Kenntniß gelangt ſind, daß das Licht ungefähr $\frac{630000}{15}$, d. h. 42000 Meilen in einer Secunde durchläuft, ergiebt nun jede Beobachtung eine Prüfung und eine Beſtätigung dieſer Angabe. Wir wiſſen nämlich nun, daß wir in E den Eintritt in den Schatten oder den Austritt aus dem Schatten auch nicht dann ſehen, wann er ſtattfindet, ſondern — je nach der Entfernung des Jupiter von der Erde — ſpäter; wir berechnen dieſe Verzögerung für die in F, G, L beobachteten Eintritte und Austritte in den und aus dem Schatten nach dem Maße der jedesmaligen Entfernung von dem Jupiter, und die Beobachtung zeigt, daß dieſe berechnete Zeit, wobei auf die Fortpflanzung des Lichtes Rückſicht genommen iſt, wirklich die iſt, welche der Wahrheit entſpricht.

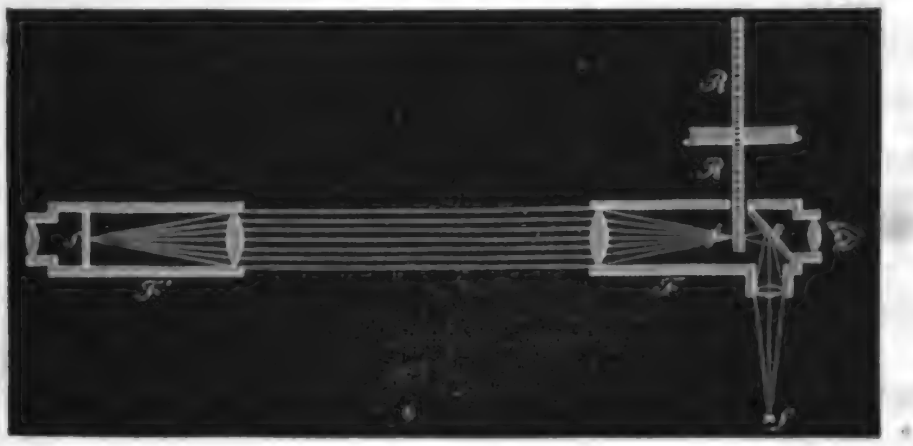
Eine Beſtätigung der von dem däniſchen Aſtronomen Olaus Römer im Jahre 1675 in Paris aufgefundenen Geſchwindigkeit des Lichtes gewährte bald nach jener Entdeckung die von Bradley (1727) gemachte Beobachtung der Abirrung oder Aberration des Lichtes (ſ. Art. Abirrung des Lichtes Bd. I. S. 3). Hieraus ergab ſich zugleich, daß jene Geſchwindigkeit allem Lichte eigenthümlich ſei und nicht etwa nur dem der Planeten zukomme, indem ſie ſich bei allen Fixſternen als dieſelbe zeigte. Die Sterne ſcheinen nämlich alle vermöge der Aberration während eines Umlaufes der Erde um die Sonne Ellipſen zu beſchreiben, die deſto ſchmäler ſind, je näher die Sterne der Ekliptik ſtehen, deren große Axen aber alle gleich, nämlich ungefähr 40 Secunden ſind, weil dieſe durch das Verhältniß der Geſchwindigkeit des Lichtes zur Geſchwindigkeit der Erde beſtimmt wird. Gäbe es Sterne, deren Licht langſamer zu uns käme, ſo würden ſie eine größere Ellipſe zu durchlaufen ſcheinen. Nun hat man zwar aus den verſchiedenen Fixſternbeobachtungen kleine Unterſchiede in der Aberrationsconſtante gefunden, und vielleicht liegt der Grund hiervon darin, daß das Licht der verſchiedenen Fix-

ſterne eine verſchiedene Geſchwindigkeit beſitzt, doch ſteht die Thatſache bis jetzt durchaus noch nicht ſo feſt, daß man das letztere mit Beſtimmtheit behaupten könnte.

Nach Delambre iſt die Geſchwindigkeit des Lichtes 10183 Mal ſo groß, als die mittlere Geſchwindigkeit der Erde in ihrer Bahn (= 4,1514 Meilen), wobei Beobachtungen an den Jupitersmonden zu Grunde liegen; nach v. Lindenau aus der Aberration hergeleitet 10086 Mal. Nach den neueſten Beobachtungen von Struve *) beträgt die Geſchwindigkeit des Lichtes 41549 geogr. Meilen (à 7419 Meter) mit einem wahrſcheinlichen Fehler von höchſtens 2 geogr. Meilen. Hiernach legt das Licht den Weg von der Sonne bis zur Erde nach Delambre in 8′ 13″,2, nach v. Lindenau in 8′ 15″,7 und nach Struve in 8′ 17″,78 zurück.

In neuerer Zeit iſt es Fizeau gelungen, die Geſchwindigkeit des Lichtes auch durch auf der Erde angeſtellte Beobachtungen zu meſſen. — Wenn eine Scheibe, nach Art der gezahnten Räder am Umfange in gleichgroße, abwechſelnd volle und ausgeſchnittene, Stücke getheilt, ſich in ihrer Ebene um den Mittelpunkt ihrer Figur mit großer Geſchwindigkeit dreht, ſo iſt die Zeit, während welcher ein ſolcher Zahn oder ein ſolcher Zwiſchenraum vor einem beſtimmten Punkte vorbeigeht, ſehr kurz. Man kann es dahin bringen, daß dieſe Zeit nur $^1/_{10000}$ oder gar nur $^1/_{100000}$ Secunde beträgt, ein Zeittheilchen, in welchem das Licht bei 40000 Meilen Geſchwindigkeit im erſten Falle 4 Meilen, im anderen nur $^1/_4$ Meile zurücklegt. Geht nun durch die Abtheilungen einer ſolchen rotirenden Scheibe ein Lichtſtrahl hindurch, der nach ſeinem Durchgange mittelſt eines entfernten Spiegels reflectirt und zur Scheibe zurückgeſandt wird, ſo wird er bei ſeiner Rückkehr zur Scheibe je nach der Rotationsgeſchwindigkeit derſelben entweder einen Zahn oder eine Lücke treffen, ſo daß er alſo je nach den Umſtänden entweder durch einen Zahn aufgehalten oder durch eine Lücke hindurchgehen wird.

Von dieſem Principe ausgehend ſtellte nun Fizeau ein Syſtem von zwei Fernröhren F und F′ (ſ. beiſtehende Figur), das eine im Belvedere eines zu Suresnes gelegenen Hauſes, das andere auf der Höhe des Montmartre, in einer



*) v. Humboldt's Kosmos. Bd. III. S. 91. Humboldt's geſchichtliche Angaben ſind nicht ganz genau; vergl. Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 538 und Bd. LXXXIX. S. 352.

Entfernung von beiläufig 8633 Metern = 26575 Par. Fuß, so auf, daß man das Fadenkreuz des einen im Brennpunkte des anderen sah. In dem einen Fernrohre F ist unter einem Winkel von 45° gegen die Axe desselben ein durchsichtiges Glas g zwischen dem Ocular und dem Brennpunkte des Objectivs angebracht, um das Licht einer Lampe L oder der Sonne seitwärts aufzufangen und nach dem Brennpunkte hinzuwerfen. In demselben Fernrohre ist nun ein Linsensystem angebracht, durch welches das von der Lichtquelle ausgehende Licht, nachdem es von dem Glase g reflectirt ist, aus dem Objective als ein Bündel paralleler Strahlen austritt, mithin sich in dem Brennpunkte des anderen Fernrohres F' wieder vereinigt. In dem Brennpunkte von F' befindet sich aber ein Planspiegel s, von welchem die Strahlen auf demselben Wege zum ersten Fernrohre zurückgehen, um in dem Brennpunkte seines Objectivs abermals vereinigt zu werden. Dieses Bild läßt sich dann mittelst des Oculars durch das Glas g hindurch betrachten. Bringt man nun an der der Lichtquelle gegenüberliegenden Seite des Fernrohres eine Oeffnung an, durch welche der Rand des gezahnten Rades R, R so in das Innere des Fernrohres hineinragt, daß der gezahnte Rand gerade durch den Brennpunkt f des Objectives geht; so ist der Apparat zur Beobachtung fertig.

Der Versuch gelang sehr gut und man sah, je nach der mehr oder weniger großen Rotationsgeschwindigkeit, den Lichtpunkt erglänzen oder sich gänzlich verdunkeln. Die erste Verfinsterung trat bei 12,6 Umläufen der mit 720 Zähnen versehenen Scheibe in einer Secunde ein; bei doppelter Geschwindigkeit erglänzte der Punkt aufs Neue; bei dreifacher Geschwindigkeit entstand eine zweite Verfinsterung; bei vierfacher Geschwindigkeit erglänzte der Punkt abermals u. s. f.

Die Breite jedes Zahnes, eben so jeder Lücke beträgt $\frac{1}{1440}$ vom Umfange des Rades; es dauert also bei 12,6 Umläufen in einer Secunde $\frac{1}{1440 \cdot 12{,}6} = \frac{1}{18144}$ Secunde, bis eine Lücke den Brennpunkt f passirt; das Licht, welches durch diese Lücke hindurchgeht, kommt aber gerade vom anderen Fernrohre zurück, während ein Zahn im Punkte f ist, folglich hat das Licht in $\frac{1}{18144}$ Secunde den Weg von $2 \cdot 8633 = 17266$ Metern zurückgelegt. Die Geschwindigkeit des Lichtes ergiebt sich mithin $= 17266 \times 18144 = 313285304$ Metern oder $\frac{313285304}{7420} = 42221$ geogr. Meilen in einer Secunde. 28 Beobachtungen gaben im Mittel 42506 Meilen in der Secunde *).

Im Verein mit L. Breguet hat Fizeau ferner vergleichende Versuche angestellt in Betreff der Geschwindigkeit des Lichtes in Luft und in Wasser **).

*) Compt. rend. T. XXIX. p. 90. Pogg. Ann. Bd. LXXIX. S. 167. Einleitung in die höhere Optik von Beer. Braunschweig 1853. S. 3.

**) Compt. rend. T. XXX. p. 562 u. 771. Pogg. Ann. Bd. LXXXI. S. 442 u. Bd. LXXXII. S. 124.

Die Beobachtungsmethode gründete ſich wie vorher auf die durch eine normale Reflexion bewirkte Rückkehr der Lichtſtrahlen in ſich ſelbſt, doch — ſtatt des gezahnten Rades — mit Benutzung eines rotirenden Spiegels, wie ihn Wheatſtone (vergl. Art. Elektricität. Bd. II. S. 738) bei Beſtimmung der Geſchwindigkeit der Elektricität angewendet hatte. Es ergab ſich, daß die Geſchwindigkeit des Lichtes im Waſſer ſich zu der in Luft verhält wie 3 : 4. — In ähnlicher Weiſe und gleichzeitig hat Foucault die Geſchwindigkeit des Lichtes in Luft und durchſichtigen Mitteln überhaupt zu meſſen und die relative Geſchwindigkeit des Lichtes in Luft und Waſſer zu beſtimmen geſucht. Wir begnügen uns hier mit der Bemerkung, daß ſeine Reſultate den vorher angeführten zur Beſtätigung dienen *).

Eine gleichförmige und geradlinige Bewegung des Lichtes findet nur ſo lange ſtatt, als ſich daſſelbe ununterbrochen in demſelben Medium fortpflanzt, und ſo lange dies Medium ſich in jeder Beziehung, alſo z. B. auch in Betreff der Dichtigkeit, gleich bleibt. Trifft das Licht auf ſeinem Wege auf ein anderes Medium, oder treten in dem Medium Aenderungen ein, ſo erleidet es eine Aenderung in der Geſchwindigkeit, welche ſich in den meiſten Fällen durch eine Aenderung der Richtung und der Intenſität zu erkennen giebt. Ein Theil des Lichtes geht nämlich von der Grenze zweier verſchiedenartiger Medien in das frühere zurück, während der andere Theil in das neue Medium eintritt.

Fällt das Licht auf einen undurchſichtigen Körper, ſo tritt ein Theil des Lichtes in das Innere deſſelben ein, verſchwindet gewiſſermaßen und man ſagt, der undurchſichtige Körper habe das Licht verſchluckt oder abſorbirt; ein anderer Theil des Lichtes geht in das erſte Mittel, durch welches es auf den undurchſichtigen Körper gelangte, zurück und wird hierbei theils regelmäßig reflectirt, d. h. nach Richtungen zurückgeworfen, die in einer beſtimmten Geſetzmäßigkeit auf einander folgen, wenn wir von einem Punkte der Oberfläche zu dem nächſtfolgenden übergehen, theils zerſtreut, d. h. nach allen Richtungen zurückgeworfen. Solche Körper, auf deren Oberfläche eine regelmäßige Reflexion ſtattfindet, heißen Spiegel, z. B. die ruhige Queckſilberfläche. Das Nähere hierüber enthält der Art. Spiegel, auch iſt zu vergleichen: Cylinderſpiegel, Kegelſpiegel ꝛc. — Das zerſtreute Licht giebt dem Körper, von welchem es ausgeht, das Anſehen, als ob er von ſich ſelbſt Licht ausſendete und macht ihn dadurch ſichtbar. Wird daher von einem Körper kein Licht zerſtreut, würde alſo alles Licht regelmäßig reflectirt, oder alles abſorbirt, oder ginge alles Licht durch regelmäßige Reflexion und Abſorption verloren, ſo würde der Körper, an welchem dies ſtattfände, unſichtbar ſein und wir würden auf ſein Vorhandenſein nur dadurch ſchließen, daß er uns andere Gegenſtände verdeckt. Je ebener und glatter die Oberfläche eines beleuchteten Gegenſtandes iſt, deſto weniger Lichtzerſtreuung findet an ihm ſtatt.

Tritt das Licht aus dem leeren Raume in einen durchſichtigen Körper, oder geht es bei ſeinem Austritte aus einem Medium in ein anderes über, ſo ändert es ſeine Richtung, wenn ſeine anfängliche Richtung gegen die Trennungs-

*) Compt. rend. T. XXX. p. 551. Pogg. Ann. Bd. LXXXI. S. 434. Ann. de ch. et phys. T. XLI. p. 129. Beer a. a. O. S. 12.

fläche ſchief war, und man ſagt, das Licht ſei gebrochen. Wegen des Näheren verweiſen wir auf die Artikel: Brechbarkeit Bd. I. S. 866, Brechung des Lichtes Bd. I. S. 872, Dioptrik Bd. II. S. 532.

Das Licht der Sonne, welches dasjenige iſt, durch welches wir bei Tage die Gegenſtände der Erde wahrnehmen, iſt weiß. Dieſes Weiß aber enthält in ſich alle diejenigen Farben, welche wir in bekannter Mannichfaltigkeit wahrnehmen. Das Nähere hierüber findet ſich in dem Artikel Farbe Bd. III. S. 23. Hier ſei nur bemerkt, daß ein Körper weiß heißt, wenn er alle Lichtſtrahlen gleichmäßig nach allen Richtungen und unverändert in ihrer Farbe zerſtreut, ſchwarz hingegen, wenn er von dem auffallenden Lichte nichts oder doch nur ſehr wenig reflectirt und nichts durchläßt.

Merkwürdige Erſcheinungen bieten ſich dar, wenn zwei Lichtſtrahlen, welche von Einer Lichtquelle ausgehen, auf verſchiedenen, ſich aber unter ſehr kleinen Winkeln durchſchneidenden Wegen in einem Punkte zuſammentreffen, indem ſie dann eine eigenthümliche Einwirkung auf einander äußern, ſo daß durch ihr Zuſammentreffen ſogar Dunkelheit entſtehen kann. Das Nähere hierüber enthält der Artikel Interferenz Bd. IV. S. 109, zu vergleichen iſt aber auch der Artikel Farbenringe Newton's Bd. III. S. 56 und eben ſo der Artikel Inflexion oder Diffraction oder Beugung Bd. IV. S. 57.

Eine fernere merkwürdige optiſche Erſcheinung bezieht ſich auf Modificationen in der Intenſität eines einzelnen Lichtſtrahles, worüber ausführlich der Artikel Polariſation handelt. Hier erwähnen wir nur, daß ſich das directe Licht leuchtender Körper und das nach allen Richtungen gleichmäßig zerſtreute Licht dunkler Körper von dem geſpiegelten, d. h. regelmäßig reflectirten Lichte undurchſichtiger und dem durchgelaſſenen durchſichtiger bei gleicher Helle und gleicher Farbe durch gewiſſe phyſikaliſche Eigenſchaften unterſcheidet, welche unter dem Namen der Polariſation zuſammengefaßt werden. Der Einfluß des Magnetismus und der elektriſchen Ströme auf das Licht findet ebenfalls im Artikel Polariſation ſeine Erledigung.

In Betreff der Schattenbildung iſt ſchon oben auf Artikel Schatten verwieſen. Das auf die perſpectiviſchen Verhältniſſe Bezügliche enthält der Artikel Sehen.

D. Theorien zur Erklärung der optiſchen Erſcheinungen.

Wir haben im Eingange dieſes Artikels die Frage, was das Licht eigentlich ſei, unerledigt gelaſſen und nur darauf hingewieſen, daß etwas Subſtantielles als Vermittler zwiſchen dem Auge und dem durch daſſelbe wahrgenommenen entfernten Körper vorhanden ſein müſſe. Wie wir uns dieſe Vermittelung zu denken haben, darüber haben lange Zeit zwei Hypotheſen: die Emanationshypotheſe (v. d. lat. emanare, ausfließen) oder Emiſſionshypotheſe (v. d. lat. emittere, ausſenden) und die Vibrationshypotheſe (v. d. lat. vibrare, zittern, ſchwingen) oder Oscillationshypotheſe (v. d. lat. oscillare, ſich ſchaukeln) oder Undulationshypotheſe (v. d. lat. undulatus, wellenförmig) einander gegenüber geſtanden, bis endlich der Sieg ſich zu Gunſten der letzteren entſchieden hat.

Nach der Emanations- oder Emissionshypothese nimmt man an, daß es eine eigenthümliche Lichtmaterie gebe, und daß ein leuchtender Körper Theilchen dieser Materie nach allen Seiten hin aussende, welche dann unser Auge treffend die Empfindung des Sehens hervorbrächten. Diese Lichtmaterie muß, da sie sich sonst unserer Wahrnehmung ganz entzieht und nur ihr Stoß im Auge empfunden wird, äußerst fein und den Wirkungen der Schwere nicht unterworfen sein; wir haben sie also als imponderabel anzunehmen. Wegen der ungemeinen Geschwindigkeit des Lichtes müssen die Theilchen von einem leuchtenden Körper mit der Geschwindigkeit von etwa 42000 Meilen in einer Secunde ausgehen. Die Lichttheilchen sind sowohl den anziehenden, als den abstoßenden Kräften der Körper unterworfen, auf deren Oberfläche sie treffen; ersteres wegen der Refraction, letzteres wegen der Reflexion. Ueberdies muß man annehmen, daß sich in den durchsichtigen Körpern hinreichend große Zwischenräume befinden, um den Lichttheilchen den Durchgang zu gestatten. Von den selbst leuchtenden Körpern geht das Licht auf eine nicht näher zu erklärende Weise aus, die übrigen sichtbaren Körper senden die auf sie fallenden Lichttheilchen zurück. Dem Einwande, daß die leuchtenden Körper endlich an Masse verlieren würden, suchte man dadurch zu begegnen, daß das Licht, welches als ein im leuchtenden Körper ursprünglich gebundener, nachher frei werdender Bestandtheil angesehen werden müsse, so fein sei und im gebundenen Zustande einen so über alles Maß kleinen Raum einnehme, daß der Verlust an Masse durch das Leuchten auch nach sehr langer Dauer desselben verschwindend gering sei; überdies könne das ausgesendete Licht in demselben Maße wieder im Körper von außen ersetzt werden, in welchem es von diesem ausströme. Die Erscheinungen der verschiedenen Brechbarkeit der farbigen Strahlen bedingt eine verschiedene Anziehung der Körper gegen die verschieden gefärbten Lichtstrahlen. Die verschiedene Empfindung der Farbe muß abhängig gemacht werden von der Größe der Trägheit der Lichttheilchen, so daß die Lichttheilchen, deren Trägheit am größten ist, der rothen, jene, deren Trägheit am kleinsten ist, der violetten Farbe, und die übrigen nach Maßgabe ihrer Trägheit der orangen, gelben ꝛc. Farbe entsprechen. Die Erscheinung der Farbenringe Newton's zwang zu der Annahme sogenannter Anwandlungen, d. h. den Lichtstrahlen solle die Eigenschaft zukommen, in gleichen, periodisch wiederkehrenden Entfernungen bald leichter durchgelassen, bald leichter reflectirt werden zu können (vergl. Art. Farbenringe Newton's Bd. III. S. 71 ff.). Wegen der Polarisation des Lichtes (s. diesen Artikel) mußte man den Lichtstrahl als mit Seitenflächen versehen annehmen und zwar der Art, daß diese Flächen mit verschiedenen physischen Eigenschaften begabt sind. Wir sehen also, daß die Hypothese mit jeder neuen Erscheinung mit neuen Ergänzungen ausgestattet werden mußte, die allerdings sich noch rechtfertigen ließen. Die Interferenzerscheinungen (s. d. Art.) indessen sprechen entschieden gegen dieselbe.

Nach der Vibrations-, oder Oscillations- oder Undulationshypothese nimmt man an, daß das Wesen des Lichtes — analog dem Schalle — in der Fortpflanzung schwingender Bewegungen der kleinsten Theilchen eines eigenthümlichen Mittels besteht, welches Aether oder bezeichnender Lichtäther genannt wird und überall da vorhanden ist, wo sich Licht zeigt. Der Aether ist anzusehen, als ein außerordentlich feines, elastisches, alle Zwischenräume der Körper durchdringendes Fluidum, welches den ganzen Weltenraum erfüllt. Der

leuchtende Körper leitet die Schwingungen in dem ihn zunächſt umgebenden Theile des Aethers ein, eben ſo wie eine ſchwingende Saite die umgebende Luft in Schwingungen verſetzt; die Elaſticität des Aethers iſt die Urſache der regelmäßigen Fortpflanzung der erregten Aetherſchwingungen nach entfernten Orten, eben ſo wie die Elaſticität der Luft die Urſache des Fortſchreitens der Schallwellen iſt; das ſehende Auge empfindet den Schlag der Aetherſchwingungen, indem ſich dieſe bis in ſein Inneres fortpflanzen, und nach der Richtung des Schlages wird die Gegend beurtheilt, von welcher die Schwingungen ausgegangen ſind, eben ſo wie das Ohr den Schlag der Schallſchwingungen empfindet. — Das Licht iſt nun natürlich nicht der Aether ſelbſt, ſondern das Reſultat einer im Aether hervorgebrachten Bewegung, eben ſo wie der Schall nur das Reſultat einer Wellenbewegung iſt. Wäre der Aether im ganzen Weltenraume in Ruhe, ſo würde allenthalben vollſtändige Finſterniß herrſchen. — Die Schwingungen der Aethertheilchen erfolgen nicht parallel ihrer Fortpflanzungsrichtung, ſondern ſenkrecht auf dieſelbe. Wie dies zu verſtehen iſt, haben wir bereits im Art. Inflexion näher angegeben, weshalb wir auf Bd. IV. S. 69 u. 70 verweiſen. An der angeführten Stelle iſt auch angegeben, was man unter einer Oscillation, unter der Amplitude, unter Oscillationsdauer, unter Oscillationsgeſchwindigkeit, unter Fortpflanzungsgeſchwindigkeit des Lichtes, unter einem leuchtenden Punkte, unter einem geometriſchen und einem phyſiſchen, unter einem natürlichen oder unpolariſirten und einem polariſirten Lichtſtrahle, endlich unter einer Aetherwelle zu denken hat. Wir führen hier im Allgemeinen nur noch an, daß die Lichtſchwingungen qualitativ verſchieden erſcheinen, je nach der verſchiedenen Dauer der Schwingungen, und quantitativ, je nach der verſchiedenen Größe der Verſchiebung, welche beim Schwingen ſtattfindet, und bemerken zugleich, daß durch die Qualität die Farbe des Lichtes bedingt wird, indem je nach der Verſchiedenheit in der Schwingungsdauer das Auge einen verſchiedenen Eindruck erleidet und eine verſchiedene Empfindung bekommt, die ſich eben als Farbe kund giebt, eben ſo wie die Höhe oder Tiefe eines Tones auch nur in einer Verſchiedenheit der Schwingungsdauer begründet iſt, ferner, daß durch die Quantität die Intenſität des Lichtes beſtimmt wird, eben ſo wie die Stärke des Schalles durch die Größe der Verſchiebung der Theilchen aus der urſprünglichen Gleichgewichtslage bedingt iſt.

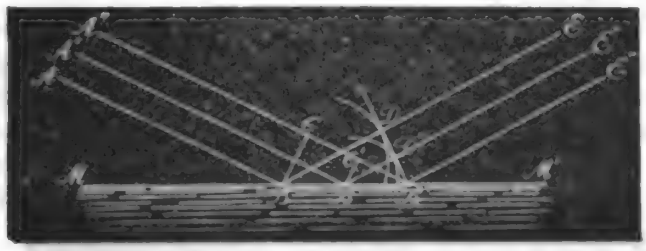
Wegen der Erklärung der Interferenzerſcheinungen des Lichtes nach der Vibrationshypotheſe verweiſen wir auf Art. Interferenz Bd. IV. S. 97 bis 100 und S. 109 ff.; wegen der Inflexion auf Art. Inflexion Bd. IV. S. 68 ff.; wegen der Polariſation auf Art. Polariſation des Lichtes. Hier möge die Erklärung der regelmäßigen Reflexion, der Brechung, der Diſperſion und der Abſorption noch eine Stelle einnehmen. Vorher ſei aber bemerkt, daß für das Vorhandenſein eines durch den Weltenraum verbreiteten Stoffes, der alſo wohl der Aether ſein mag, aſtronomiſche Erſcheinungen ſprechen, wegen deren wir hier auf Artikel Kometen und zwar auf die Abſchnitte von dem Halley'ſchen und Encke'ſchen Kometen verweiſen. Thomſon *) hat ſogar eine Schätzung für die Dichte des Licht-

*) Compt. rend. T. XXXIX. p. 329.

äthers und den mechaniſchen Effect einer Cubikmeile Sonnenlichts aufzuſtellen geſucht.

Trifft eine Lichtwelle auf irgend ein Medium, in welchem die Elaſticität des Aethers größer oder kleiner iſt, als in dem Mittel, in welchem ſich dieſelbe bis dahin fortpflanzte, ſo entſtehen zwei Wellenſyſteme, von denen das eine in das Mittel zurückgeht, aus welchem die Lichtwelle kam, das andere in das getroffene Mittel übergeht. Beide Wellenſyſteme weichen in der Richtung von der der einfallenden Welle ab, indem das eine die Erſcheinungen der Reflexion, das andere die der Refraction erzeugt.

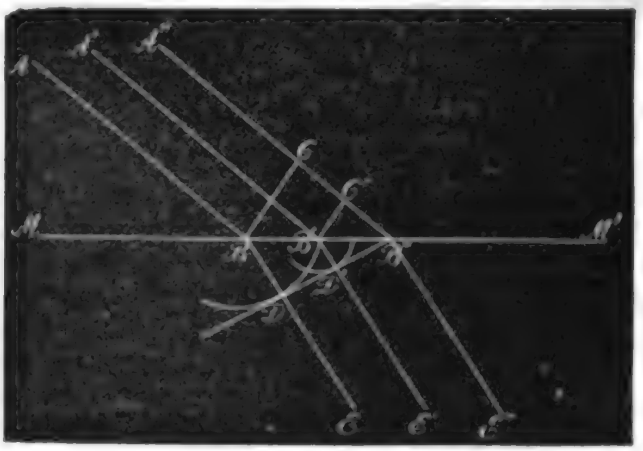
Erklärung des Grundgeſetzes der Reflexion. Es ſeien AB, A′B′, A″B″ (ſ. beiſtehende Figur) drei in einer Ebene liegende von demſelben leuchtenden Punkte ausgehende Strahlen, d. h. drei zu der nämlichen ſphäriſchen Welle gehörige Radien, welche ſo nahe bei einander ſein mögen, daß wir ſie als



parallel und den Durchſchnitt der ſphäriſchen Lichtwelle mit der Ebene, in welcher die Strahlen liegen, als eine gerade Linie BC, B′C′ anſehen können. Dieſe drei Strahlen treffen die Trennungsfläche zweier Mittel MM′ in den Punkten BB′B″. Durch die Vibration des Strahles AB wird nun das in B befindliche Aethertheilchen erſchüttert, und indem dieſes Aethertheilchen ſeine Erſchütterung den benachbarten Aethertheilchen mittheilt, entſteht eine um den Punkt B als Mittelpunkt ſich ausbreitende Aetherwelle. Daſſelbe findet durch den Strahl A′B′ bei B′ und durch den Strahl A″B″ bei B″ ſtatt. Man könnte nun meinen, daß ſich von B, B′ und B″ aus nach allen Richtungen hin Lichtſtrahlen ausbreiteten und im Grunde iſt dies auch der Fall; aber AB, A′B′ und A″B″ bilden jeder für ſich nur einen geometriſchen und keinen phyſiſchen Lichtſtrahl, während nach dem Principe von Huyghens der phyſiſche Lichtſtrahl aus einer Anzahl paralleler geometriſcher Strahlen gebildet wird, in denen ſich die entſprechenden Theilchen in gleichen Schwingungszuſtänden befinden, ſo daß ſich ihre Vibrationen gegenſeitig unterſtützen. Es bilden demnach die Strahlen AB, A′B′ und A″B″ mit den dazwiſchen liegenden parallelen geometriſchen Strahlen zuſammen erſt einen phyſiſchen Lichtſtrahl und die Punkte B, B′ und B″ liegen deshalb ſo nahe an einander, daß wir die Strecke von B bis B″ als gerade anſehen können. Die in BC, eben ſo in B′C′ liegende Wellenoberfläche können wir nun, wie bereits bemerkt iſt, als eben annehmen, und da die den ganzen Strahl conſtituirenden Wellen unter ſich eine gleiche Geſchwindigkeit haben müſſen, ſo muß in dem Augenblicke, in welchem der Punkt C der Wellenoberfläche BC in B″ ankommt, die von dem Punkte B′ ausgehende Welle ſich bereits in eine Kugelfläche ausgebreitet haben, deren Radius B′D′ = B″C′ iſt, und eben ſo die von dem Punkte B ausgehende in eine Kugelfläche mit dem Radius BD = B″C. Wenn wir nun von B″ aus

an die um B mit dem Radius B D = B″ C und um B′ mit dem Radius B′ D′ = B″ C′ beſchriebenen Kreiſe Tangenten B″ D und B″ D′ ziehen, ſo fallen dieſe zuſammen, da die Dreiecke B B″ C und B B″ D, eben ſo B′ B″ C′ und B′ B″ D′ gleich beſtimmt ſind, folglich ſind die geometriſchen Strahlen B D und B′ D′ parallel, und da die Punkte D, D′ und B″ ſich in gleichem Schwingungszuſtande befinden, ſo ergeben die parallelen Strahlen B D E, B′ D′ E′, B″ E″ wieder einen phyſiſchen Lichtſtrahl im Verein mit allen den Strahlen, welche in der Strecke B B″ parallel mit ihnen in das Mittel zurückgehen, aus welchem die Lichtſtrahlen A B, B″ A″ kamen. Wegen der gleichbeſtimmten Dreiecke B B″ C u. B B″ D iſt ∠ C B″ B = ∠ B″ B D, d. h. die einfallenden und reflectirten Strahlen bilden mit der reflectirenden Ebene gleiche Winkel, wie es das katoptriſche Grundgeſetz verlangt.

Erklärung des Grundgeſetzes der Refraction. Es ſeien wieder A B, A′ B′ und A″ B″ (ſ. beiſtehende Figur) drei in einer Ebene liegende von demſelben leuchtenden Punkte ausgehende geometriſche Strahlen, welche einen phyſiſchen Strahl conſtituiren und wie B C, eben ſo B′ C′ die Durchſchnitte der Wellenoberflächen mit dem Strahle. In den Punkten B, B′ und B″ entſtehen nun durch die Erſchütterung der dort befindlichen Aethertheilchen Aetherwellen mit den Mittelpunkten B, B′ und B″, die ſich in das andere Mittel fortpflanzen, welches durch M M′ von dem erſten Mittel, aus welchem der Lichtſtrahl kommt, getrennt iſt. Hat dieſes Mittel eine von dem erſten verſchiedene materielle Beſchaffenheit,



ſo wird der Vibrationshypotheſe gemäß die Dichtigkeit des Aethers in beiden Mitteln nicht nothwendig dieſelbe ſein; folglich werden die in dieſem Mittel ſich ausbreitenden Aetherwellen im Allgemeinen eine andere Geſchwindigkeit, als in dem erſten Mittel haben. Geſetzt dieſe Geſchwindigkeit ſei für das zweite Mittel kleiner, als für das erſte. Beſchreiben wir dann um B und B′ Kreiſe mit den Radien B D und B′ D′, welche ſich dieſer Annahme gemäß zu einander verhalten, wie B″ C zu B″ C′, d. h. die neue Aetherwelle um B iſt bis D fortgeſchritten, während die Welle B C von C bis B″ ſich ausbreitete, eben ſo die um B′ bis D′, während die erſte von C′ bis B″ ging; ſo fallen die von B″ an dieſe beiden Wellenflächen gezogenen Tangenten B″ D und B″ D′ wieder zuſammen, da das Dreieck B B″ D ähnlich iſt dem Dreiecke B B″ C und eben ſo das Dreieck B′ B″ D′ ähnlich dem Dreiecke B′ B″ C′; folglich ſind die geometriſchen Strahlen B D und B′ D′ wieder parallel, und da die Punkte D, D′ und B″ ſich in gleichem Schwingungszuſtande befinden,

Digitized by Google

ſo erhalten wir hier ebenfalls einen phyſiſchen Lichtſtrahl zuſammengeſetzt aus den unter ſich parallelen geometriſchen Strahlen BE, B′E′, B″E″ im Verein mit allen dazwiſchen liegenden parallelen Strahlen. | Da nun $B''C = BB'' \cdot \cos \sphericalangle BB''C$ iſt, und $BD = BB'' \cdot \cos \sphericalangle B''BD$, ſo iſt:

$$\cos \sphericalangle BB''C : \cos \sphericalangle B''BD = B''C : BD, \text{ alſo}$$

$$\sin (90^0 - \sphericalangle BB''C) : \sin (90 - \sphericalangle B''BD) = B''C : BD, \text{ d. h.}$$

die Sinus des Einfallswinkels und Brechungswinkels ſtehen für je zwei Mittel in einem conſtanten Verhältniſſe, nämlich in dem Verhältniſſe der Geſchwindigkeiten des Lichtes in dieſen beiden Mitteln, wie es das dioptriſche Grundgeſetz ausſpricht.

Das Phänomen der Dispersion (Farbenzerſtreuung) *), worunter man die durch Brechung erzielte Zerlegung irgend eines Lichtes in nicht weiter zerlegbare Beſtandtheile verſteht, findet nach der Vibrationshypotheſe darin ſeine Erklärung, daß die Wellen derjenigen Strahlen, welchen eine größere Schwingungsgeſchwindigkeit zukommt, bei dem Eintritte in ein brechendes Mittel in einem ſtärkeren Verhältniſſe verkürzt werden **). Den größten Gegenſatz bilden in dieſer Hinſicht die rothen und violetten Strahlen. Bei den erſteren haben die Aethertheilchen die größte, bei letzteren die kleinſte Schwingungsdauer. Vergleiche den Art. Zerſtreuung des Lichtes.

Die Abſorption, d. h. die Schwächung, welche ſowohl der reflectirte als auch der gebrochene Theil eines unpolariſirten weißen Lichtbündels an der Grenze zweier Mittel erleidet, iſt in Betreff des Thatſächlichen zum Theil in dem Artikel Farbe Bd. III. S. 40 ff. behandelt, da in der Mehrheit der Fälle dieſelbe auch von einer merklichen Färbung eines jeden der beiden Lichttheile begleitet iſt. Die Thatſache ſteht feſt, daß ſowohl bei der Reflexion, als auch bei dem Eintritte in ein neues Mittel gewiſſe Lichtſtrahlen vorzugsweiſe vor den übrigen unwirkſam gemacht werden; die Geſetze ſind aber, um darauf eine erſchöpfende Erklärung gründen zu können, noch nicht vollſtändig feſtgeſtellt. Nach der Emanationshypotheſe hat man eine ausſchließliche Verwandtſchaft der reflectirenden Subſtanz für gewiſſe Arten von Lichttheilchen angenommen, um dadurch zugleich die Schwächung und die Färbung des zurückgeworfenen und des gebrochenen Theiles des Lichtbündels zu erklären. Nach der Vibrationshypotheſe ſind es rein dynamiſche Bedingungen, welche das auffallende weiße Licht färben, indem ſich unter den Wellenbewegungen, die daſſelbe ausmachen, nur die von gewiſſer Länge hemmen, während die übrigen beſtehen bleiben. Es war namentlich v. Wrede ***), welcher die Lichtabſorption nach der Vibrationshypotheſe zu erklären verſuchte, und dieſelbe als ein Interferenzphänomen angeſehen wiſſen wollte. Wir müſſen hier auf die vortreffliche Abhandlung ſelbſt hinweiſen; bemerken indeſſen, daß wenn ſich auch gewiſſe Wellenarten hemmen, ſo daß dadurch eine Lichtſchwächung hervorgehen würde, an anderen eine Verſtärkung und mithin eine Compenſation eintreten könnte, daß alſo keine Schwächung einzutreten brauchte, wenn gleich Farbenveränderungen ſtattfinden.

---

*) Vergl. Art. Brechbarkeit. Bd. I. S. 866 und Farbe. Bd. III. S. 23.
**) Cauchy, memoire sur la dispersion de la lumière. Prague 1836.
***) Pogg. Ann. Bd. XXXIII. S. 353.

In neueſter Zeit haben die hiermit in Zuſammenhang ſtehenden Erſcheinungen ein beſonderes Intereſſe erregt. Das von Herſchel an einer Löſung von ſchwefelſaurem Chinin entdeckte Phänomen (vergl. Art. Farbe Bd. III. S. 43) gab hierzu die nächſte Veranlaſſung, und in der That mußte es zu neuen Forſchungen anregen, da die Modification, welche das Licht hier erlitten hatte, eine völlig geheimnißvolle war. Herſchel führte deshalb auch eine neue Bezeichnung ein und nannte die an der Oberfläche dieſer Flüſſigkeit ſtattfindende Diſperſion epipoliſch und ein Lichtbündel epipoliſirt, wenn es durch eine Chininlöſung gegangen und dadurch unfähig geworden iſt, ferner eine epipoliſche Diſperſion zu erleiden. Wir müſſen uns hier begnügen einen Theil der Literatur anzugeben und das Reſultat der Unterſuchungen von Stokes, denn dieſem gebührt das Verdienſt, das Weſentlichſte bei dieſem Phänomen geleiſtet zu haben, kurz anzuführen.

Stokes iſt zu der Hypotheſe gekommen, daß die unſichtbaren Strahlen des Spectrums jenſeits des Violett die materiellen Theilchen des Mediums in ſolche ſchwingende Bewegungen verſetzen möchten, wie ſie den Theilchen ſelbſtleuchtender Körper zukommen, und dieſe Schwingungen würden wieder im Lichtäther Anlaß zu Strahlen geben, die von geringerer Brechbarkeit als die primären und deshalb der Netzhaut vernehmlich wären. Die Flüſſigkeit ſelbſt aber müßte für die unſichtbaren und überhaupt für die am meiſten brechbaren Strahlen des Spectrums faſt opak ſein *). Weiteres hierüber wird in dieſem Werke der Artikel Zerſtreuung des Lichtes bringen.

An der Ausbildung der Vibrationstheorie wird zwar thätig gearbeitet, aber doch ſind noch manche Punkte zu erledigen; daß ſie bisher immer zu günſtigen Reſultaten geführt und ſelbſt Erſcheinungen angegeben hat, welche noch nicht beobachtet waren, aber ſich beſtätigten, dient nur zu ihrer immer größeren Anerkennung, ſo daß zu erwarten ſteht, daß ſie in allen Punkten ſiegreich ſich bewähren wird. Um wenigſtens einen Punkt anzuführen, über welchen noch verſchiedene Anſichten herrſchen, erwähnen wir, daß in Betreff des Zuſtandes, in welchem man ſich den im Innern eines durchſichtigen Körpers enthaltenen Aether vorſtellen muß, drei verſchiedene Hypotheſen noch mit einander im Streite liegen: entweder iſt der Aether von den Molecülen des Körpers unzertrennlich und an ſie gebunden, ſo daß er die Bewegung des Körpers theilt; oder der Aether iſt frei und unabhängig, und er wird durch die Bewegungen des Körpers gar nicht afficirt; oder nur ein Theil des Aethers iſt frei, der andere aber an die Molecüle des Körpers gebunden und dieſer nimmt allein an den Bewegungen des letzteren Theil. Vergleiche hierüber den Artikel Materie.

Die Erklärung der optiſchen Erſcheinungen nach der Vibrationstheorie führt zu den ſubtilſten mathematiſchen Unterſuchungen. Als ein vorzügliches Werk in dieſe Theorie einzudringen iſt zu empfehlen: Beer, Einleitung in die höhere Optik. Braunſchweig 1853.

In hiſtoriſcher Beziehung iſt zu bemerken, daß Newton die Emanations-

*) Phil. Transact. f. 1852 pt. 11. p. 463—562. Pogg. Ann. Ergänzungsb. IV. oder Bd. XL.b S. 177—345; im Auszuge: Bd. LXXXVII. S. 480. Phil. Mag. (4) T. IV. p. 388—393. Athen. 1852. p. 948. Instit. 1853. p. 52—54. Ann. de chim. (3) T. XXXVIII. p. 491. Fechner's C.-Bl. 1853. S. 178 ꝛc.

hypotheſe aufgeſtellt hat *), und daß Biot **) und Laplace ***) ſich vorzugsweiſe um ihre Vervollkommnung bemüht haben. Als Schöpfer der Vibrationshypotheſe iſt Huyghens zu betrachten ****); auch Grimaldi hatte ſie im Sinne; Euler vertheidigte dieſelbe *****)); aber erſt in neuerer Zeit haben namentlich die Arbeiten von Young †), Fresnel ††), Cauchy †††), dann wohl auch die von Airy, Hamilton, Fraunhofer, Neumann, Schwerd und in neueſter Zeit von Beer ††††) der Vibrationshypotheſe zum vollſtändigen Siege verholfen.

Eine vollſtändige Literatur der Optik enthält das Repertorium der Phyſik von Dove Bd. II. S. I bis CII; auf die Theorien des Lichtes bezieht ſich namentlich Abſchnitt V. S. LXXVII. In Beziehung auf die Anſichten, welche von Ariſtoteles bis Newton aufgeſtellt wurden, verweiſen wir auf: Geſchichte der Optik von Wilde. Berlin 1838. Bd. I. H. E.

Lichtbilder, ſ. Photographie.

Linie, ſ. Aequator.

Linie, elaſtiſche. Wird ein elaſtiſcher Körper durch die Wirkung zweier oder mehrerer Kräfte *†) gebogen, ſo erleiden die Längsfaſern, aus denen man ihn zuſammengeſetzt denken kann, auf der äußeren Seite der Biegung eine Ausdehnung, auf der inneren eine Zuſammendrückung, dazwiſchen liegt eine Faſerſchicht, die überall eine mittlere Spannung erleidet und welche neutrale Schicht **†) genannt wird; die Curve aber, welche die neutrale Schicht eines gebogenen elaſtiſchen Körpers annimmt, heißt elaſtiſche Linie. Die Beſchaffenheit dieſer elaſtiſchen Linie iſt abhängig a) von der Geſtalt des gebogenen Körpers, b) von ſeiner Elaſticität und c) von der Zahl, Stärke und Anordnung

*) Optice. Lausannae et Genevae. 1740. Princip. phil. nat. T. I. prop. 94.

**) Traité de Phys. T. IV. Biot's Lehrb. der Experimental-Phyſik, überſetzt von Fechner. Leipzig 1829. Bd. IV.

***) Mém. de l'Inst. 1809 p. 300.

****) Traité de la lumière. Leide 1690.

*****) Opuscula var. arg. Berol. 1746 und Briefe an eine deutſche Princeſſin.

†) Lectures on nat. phil. Lond. 1807; vergl. Gilbert's Ann. Bd. XXXIX. S. 156.

††) Sur la lumière. Paris 1822; vergl. Pogg. Ann. Bd. III. S. 89 u. 303; Bd. V. S. 223 u. Bd. XII. S. 197 u. 366.

†††) Mém. de l'Acad. T. X. p. 293; sur la lumière. Prague 1836; optique mathém. Compt. rend. 1836. T. I. p. 184, 207, 364; vergl. Pogg. Ann. Bd. XXXIX. S. 33; notes sur l'optique. Compt. rend. 1836. T. I. p. 341, 427, 455; vergl. Pogg. Ann. Bd. XXXIX. S. 39, 48.

††††) Pogg. Ann. Bd. XCI. S. 113, 268, 467 und 561; Bd. XCII. S. 402 und 522.

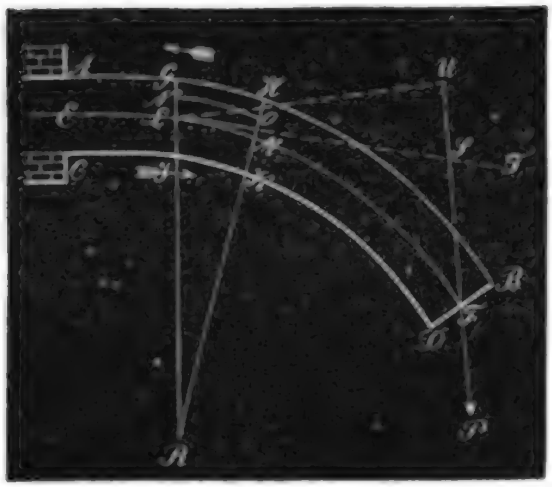
*†) Um einen freien Körper zu biegen, ſind mindeſtens zwei Kräfte nöthig, die noch dazu gleich, entgegengeſetzt ſein und an entgegengeſetzten Punkten des Körpers angreifen müſſen. Hierhin gehört der Fall, wenn man einen ſenkrecht ſtehenden Stab dadurch biegt, daß man auf ſein oberſtes Ende ſenkrecht drückt. Weiter kann er durch drei Kräfte gebogen werden, wie z. B. wenn er an einer Stelle unterſtützt und zu beiden Seiten dieſer Unterſtützung mit Gewichten belaſtet wird. Ein an einer Stelle eingeklemmter Balken kann zwar durch eine Kraft gebogen werden, aber die Einklemmung vertritt die Wirkung von wenigſtens zwei Kräften.

**†) Wenn man die neutrale Schicht — wie noch allgemein geſchieht — als die

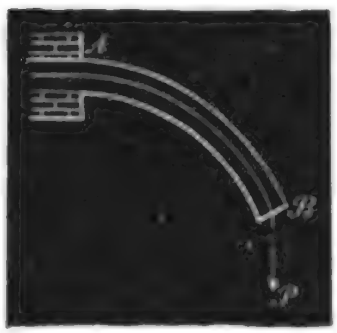
der biegenden Kräfte. So mannichfach dieſe Bedingungen ſein können, ſo mannichfach iſt auch die elaſtiſche Linie. Wir beſchränken uns hier auf den einfachſten Fall und nehmen an, daß die Geſtalt des Körpers eine prismatiſche ſei, die Biegung deſſelben innerhalb ſeiner Elaſticitätsgrenze bleibe, und die Zahl der biegenden Kräfte die kleinſte, oder ihre Anordnung die einfachſte ſei. Um nun für die mathematiſche Betrachtung Raum zu gewinnen, müſſen wir die Annahme vorausſchicken, daß alle Querſchnitte des Körpers, welche vor der Biegung ſenkrecht zu den Längsfaſern des Körpers gedacht werden, auch nach der Biegung noch ſenkrecht zu denſelben bleiben.

Es ſei A B D C Fig. I. ein Längenſchnitt eines bei A C eingeſpannten Körpers von der Länge A B = a, E L M F ſei die Lage der neutralen Schicht, G J und H K deuten die Lage zweier auf den Längsfaſern ſenkrechten Querſchnitte an, die ſich in ihrer Verlängerung in R ſchneiden, ſo daß R L = ϱ als Krümmungshalbmeſſer der Curve E F in L angeſehen werden kann, wenn der urſprüngliche Abſtand der beiden Querſchnitte von einander (= l) als nur klein angenommen wird. N O deute eine Faſerſchicht an vom kleinen Querſchnitt f und einem Abſtand L N = z von der neutralen Schicht L M. Nehmen wir nun an, die Faſer L M habe ſich von ihrer urſprünglichen Länge l auf $l + \delta$, die Faſer N O aber von l bis zu $l + \delta'$ ausgedehnt, ſo folgt, da $\triangle$ R L M $\backsim$ $\triangle$ R N O die Proportion : $\varrho : \varrho + z = l + \delta : l + \delta'$, woraus folgt $\delta' = \delta + \frac{l + \delta}{\varrho} z$. Bezeichnen wir die Spannung in der Faſerſchicht N O mit s, ſo wird dieſelbe proportional ſein mit dem Querſchnitt f, dem Ausdehnungsexponenten $\frac{\delta'}{l}$ und dem

I.



II.



Faſerſchicht definirt, welche bei der Biegung des Körpers weder eine Verlängerung noch eine Verkürzung erfährt, ſo mag das mit dem Sachverhalt nicht wohl ſtimmen. Zunächſt giebt eine einfache Betrachtung der nebenſtehenden Figur II., daß die Faſern des bei A horizontal eingeſpannten Balkens A B, der durch eine in B angebrachte vertikale Kraft P gebogen wird, um ſo mehr auch der anſpannenden Wirkung dieſer Kraft unterliegen, je mehr ſie die urſprünglich horizontale Lage bei A verlaſſen und der ſteileren bei B ſich nähern, ſo daß die mittlere Faſerſchicht, welche bei A weder eine Spannung noch eine Preſſung erfährt, bei B entſchieden geſpannt iſt.

Digitized by Google

Elaſticitätsmodulus E, ſo daß wir erhalten $s = f\frac{E\delta'}{l} = \frac{fE\delta}{l} + \frac{l+\delta}{l\varrho} fEz$; bezeichnet nun S die Geſammtſpannung im Querſchnitt GJ und F die Querſchnittsfläche, ſo iſt: $S = \Sigma\left(\frac{fE\delta'}{l}\right) = \Sigma\left(\frac{fE\delta}{l}\right) + \Sigma\left(\frac{l+\delta}{l\varrho} fEz\right) =$

$\frac{E\delta}{l}\Sigma(f) + \frac{l+\delta}{l\varrho} E\Sigma(fz) = \frac{FE\delta}{l} + \frac{l+\delta}{l\varrho} E\Sigma(fz)$.

Da aber die Spannung in der neutralen Schicht die mittlere ſein ſoll, ſo folgt daraus auch der Werth $S = \frac{FE\delta}{l}$, und aus den Vergleichen dieſer beiden für S aufgeſtellten Werthe folgt

$$\Sigma(fz) = o.$$

Soll aber die Summe der Producte aller Flächentheile f des Querſchnitts mit ihren Abſtänden z von der neutralen Schicht gleich o ſein, ſo muß die neutrale Schicht ſelbſt durch den Schwerpunkt des Querſchnitts gehen.

Die Geſammtſpannung im Querſchnitt GJ

$$S = \frac{FE\delta}{l} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

iſt eine Wirkung der biegenden und ſpannenden Kraft P, die wir uns am Endpunkte F des Balkens wirkend denken wollen. Zerlegen wir die Kraft P in zwei Seitenkräfte, von denen die eine die Richtung der Tangente LT hat, die andere auf dieſer ſenkrecht ſteht, ſo bringt die erſte Seitenkraft $P\cos\beta$ (wenn $\angle PST = \beta$ geſetzt wird) jene Spannung S hervor, ſo daß wir ſetzen können: $P\cos\beta = S = \frac{FE\delta}{l}$, woraus folgt:

$$\frac{\delta}{l} = \frac{P\cos\beta}{FE} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Dieſe Formel beſagt, daß die neutrale Schicht nicht, wie noch vielfach angenommen wird, frei von Spannung und Preſſung iſt, ſondern daß dies nur an ſolchen Stellen der Fall ſein kann, für welche $\cos\beta = o$ iſt, d. h. für $\beta = 90^0$, in allen Punkten, für welche $\beta < 90^0$, erleiden die Faſern der neutralen Schicht eine Spannung, in denen, für welche $\beta > 90^0$, aber eine Preſſung.

Da aber E gegen P immer ſehr groß iſt, ſo wird δ gegen l immer ſehr klein bleiben, und wir können zur Vereinfachung der Rechnung δ gegen l verſchwinden laſſen. Dann werden alle Faſern oberhalb LM als geſpannte und alle unterhalb LM als gedrückte erſcheinen, die geſpannten Faſern werden ſich zuſammenziehen, die gepreßten ſich ausdehnen wollen, und hierdurch wird ein Beſtreben entſtehen, den Querſchnitt GJ um L in der durch die Pfeile angegebenen Richtung zu drehen. Die Größe dieſes Beſtrebens wird ausgedrückt durch die Summe aller ſtatiſchen Momente der einzelnen Spannungen für L als Centrum.

Für $\delta = o$ nimmt die Spannung s den Werth $\frac{fEz}{\varrho}$ an, das ſtatiſche Mo-

ment dieſer Spannung für L als Centrum iſt $\frac{fEz^2}{\varrho}$, folglich das ganze Drehungsbeſtreben des Querſchnitts $= \frac{E}{\varrho}\Sigma(fz^2)$. Dieſem Drehungsbeſtreben wird das Gleichgewicht gehalten durch die Wirkung der Kraft P. Iſt das Perpendikel L M auf die Richtung der Kraft P durch p bezeichnet, ſo iſt das entgegengeſetzte Drehbeſtreben der Kraft P für den Querſchnitt G J gleich P p.

Demnach folgt:

$$\frac{E}{\varrho}\Sigma(fz^2) = Pp$$

Der Ausdruck $\Sigma(fz^2)$ iſt nur abhängig von der Größe und der Geſtalt des Querſchnitts und ſetzen wir für ihn der Kürze wegen das Zeichen W, ſo nimmt die letzte Gleichung auch folgende Geſtalt an:

$$WE = Pp\varrho \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Das Product W E heißt Biegungsmoment und die Gleichung (3) enthält das Hauptgeſetz für alle Arten der elaſtiſchen Linien. Es iſt nämlich für jeden Punkt der neutralen Schicht eines gebogenen Körpers das Product aus dem ſtatiſchen Momente P p der biegenden Kraft mit dem Krümmungsradius ϱ gleich dem Biegungsmomente und zwar conſtant, wenn der gebogene Körper homogen und prismatiſch iſt.

Bei den meiſten techniſchen Conſtructionen kommt es darauf an, ſtarke Biegungen zu vermeiden, dafür alſo zu ſorgen, daß der Krümmungsradius ϱ ſtets ſehr groß werde. Da nun aus

$$\varrho = \frac{WE}{Pp}$$

folgt, daß ϱ um ſo größer iſt, je kleiner P und p und je größer W E iſt, P und p aber meiſt gegebene Größen ſind, ſo muß man, um Feſtigkeit zu erlangen, vorzugsweiſe das Biegungsmoment W E ſehr groß zu machen ſuchen. Die große Bedeutung, die in neuerer Zeit die Theorie des Biegungsmomentes gewonnen hat, macht es nöthig, hier näher darauf einzugehen.

Der Einfluß des Factors E ſpringt in die Augen. E iſt der Elaſticitätsmodulus und giebt als ſolcher ein Maß für das Widerſtreben der Materialien gegen eine Formveränderung an. Es verſteht ſich daher von ſelbſt, daß man vorzugsweiſe ſolche Materialien wählen wird, für welche E groß iſt. So iſt für Stabeiſen E = 29000000 Pfund, und für Holz E = 1800000 Pfund, ſo daß bei ſonſt gleichen Verhältniſſen Eiſen eine 16 Mal größere Feſtigkeit bietet. Einer näheren Unterſuchung bedarf der Factor W; er iſt beſonders von der Vertheilung der Materie abhängig, und durch ihn iſt es möglich, daß eine geringe Maſſe bei geſchickter Vertheilung eine große Feſtigkeit darbietet.

Die Gleichung

$$W = \Sigma(fz^2)$$

beſagt, daß W gleich der Summe aller Producte der einzelnen Flächentheile f mit dem Quadrat ihres Abſtandes z von einer durch den Schwerpunkt der Fläche ge-

zogenen Horizontalen iſt. W iſt alſo um ſo größer, je mehr Flächentheile f vorhanden ſind, d. h. je größer die Querſchnittsfläche F iſt, aber auch — und dieſer Umſtand iſt wichtiger — je weiter dieſe Flächentheile von der durch den Schwerpunkt gelegten Horizontalen abliegen. Bei gleichen Querſchnittsflächen wird von zwei Körpern derjenige das größere Biegungsmoment haben, deſſen Flächentheile die größere vertikale Entfernung vom Schwerpunkt des Querſchnitts haben. Das kann dadurch erreicht werden, daß man die Körper in der Nähe ihrer Axe hohl macht. Dieſes Reſultat wird ſich noch beſtimmter herausſtellen, wenn wir auf die beſonderen Querſchnittsformen näher eingehen.

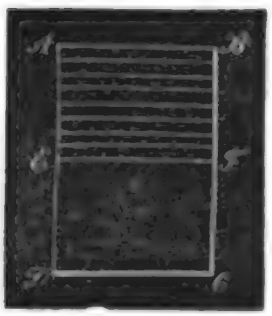
Iſt der Querſchnitt des gebogenen Körpers ſo geſtaltet, daß er als Summe oder Differenz mehrerer einfachen Flächen erſcheint, ſo hat man, um den Werth W für die Geſammtfläche zu finden, zwei Fälle zu unterſcheiden. Entweder geht die neutrale Schicht durch alle Schwerpunkte der einzelnen Partialflächen: dann findet man den Werth W durch entſprechende Addition oder Subtraction der einzelnen beſonderen Werthe, die für die Partialflächen berechnet ſind; oder die Schwerpunkte einiger oder aller Partialflächen liegen außerhalb der neutralen Schicht: dann muß man vor der Addition oder Subtraction erſt eine Reduction des gefundenen Werthes in Bezug auf die Lage der neutralen Schicht vornehmen.

Es ſei $W = \Sigma (f z^2)$ für eine gewiſſe Fläche F bekannt, wenn die neutrale Schicht durch den Schwerpunkt der Fläche geht, es ſoll nun $W' = \Sigma (f z'^2)$ gefunden werden, wenn ſich die Entfernungen z' auf eine Horizontale beziehen ſollen, die mit jener oben gedachten neutralen Schicht zwar parallel iſt, aber von ihr um die Entfernung d abſteht. Es iſt dann $z' = z \pm d$, alſo

$$W' = \Sigma (f z'^2) = \Sigma [f (z \pm d)^2] = \Sigma (f z^2) \pm 2 d \Sigma (f z) + d^2 \Sigma (f)$$
$$= W + F d^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

denn $\Sigma (f z^2) = W$, $\Sigma (f z) = o$, weil jene erſte neutrale Schicht, auf welche ſich die Diſtanzen z beziehen, durch den Schwerpunkt geht; und $\Sigma (f)$ iſt $= F$.

Wir wollen nun das Biegungselement W für den rechteckigen, dreieckigen, kreisförmigen und elliptiſchen Querſchnitt entwickeln, um dann mit Hülfe der eben aufgeſtellten Formel (4) den Werth W für zuſammengeſetzte Querſchnittsflächen darſtellen zu können.



Es ſei A B C D (ſ. beiſtehende Figur) ein rechteckiger Querſchnitt von der Breite A B = b und der Höhe A D = h, die neutrale Schicht E F gehe durch die Mitte des Rechtecks. Man theile die Hälfte A B F E durch Linien parallel mit A B in eine ſehr große Anzahl gleichbreiter Streifen, ſo iſt jeder Streifen $f = \frac{b h}{2 n}$, ihre Abſtände z von E F ſind der Reihe nach $\frac{h}{2n}, \frac{2h}{2n}, \frac{3h}{2n}, \ldots \frac{nh}{2n}$; daſſelbe kann man auch mit der Hälfte E F C D vornehmen, und es ergiebt ſich dann folgende Entwickelung:

$$W = \Sigma(fz^2) = 2\left[\frac{bh}{2n}\cdot\left(\frac{h}{2n}\right)^2 + \frac{bh}{2n}\left(\frac{2h}{2n}\right)^2 + \frac{bh}{2n}\cdot\left(\frac{3h}{2n}\right)^2 + \ldots \frac{bh}{2n}\left(\frac{nh}{2n}\right)^2\right]$$

$$= \frac{bh^3}{4n^3}[1 + 2^2 + 3^2 + 4^2 + \ldots + n^2] = \frac{bh^3}{4n^3}\cdot\frac{n^3}{3}^{*}) = \frac{bh^3}{12}.$$

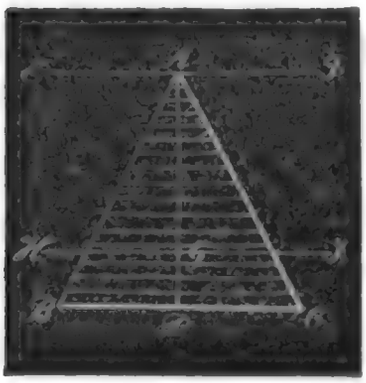
Für den rechteckigen Querſchnitt iſt alſo:

$$W = \frac{bh^3}{12} \quad \ldots\ldots \quad (5)$$

Dieſe Formel zeigt, daß der Widerſtand rechteckiger Balken gegen Einbiegung proportional ihrer Breite und der dritten Potenz ihrer Höhe iſt, daß es alſo von großem Vortheil iſt, ſolche Balken auf die ſogenannte hohe Kante zu ſtellen.

Aufgabe 1. Man hat einen rechteckigen Balken, der im Querſchnitt 4″ breit und 9″ hoch iſt, man legt ihn einmal ſo, daß die größere Dimenſion 9″ horizontal liegt, das zweite Mal aber ſo, daß dieſelbe ſenkrecht ſteht, wie viel Mal iſt im zweiten Falle ſein Widerſtand gegen die Einbiegung größer als im erſten?

Auflöſung. Im erſten Falle iſt $W_1 = \frac{9 \cdot 4^3}{12} = 48$; im zweiten $W_2 = \frac{4 \cdot 9^3}{12} = 243$, die verlangte Zahl iſt aber $\frac{W_2}{W_1} = \frac{243}{48} = 5^1/_{16}$.



Iſt ABC in nebenſtehender Figur der dreiecke Querſchnitt des Balkens horizontal der Grundlinie $BC = b$, und die Höhe $AD = h$, ſo findet man zunächſt W′, wenn man die Abſtände z′ auf eine Horizontale EF bezieht, welche durch A gelegt iſt. Denkt man ſich das Dreieck durch Linien parallel mit BC in eine große Zahl (n) gleich breiter Streifen zerlegt, die man wohl als ſchmale Rechtecke behandeln kann, ſo ſind die Flächenräume f dieſer Streifen bezüglich von der Spitze an gerechnet: $\frac{bh}{n^2}, \frac{2bh}{n^2}, \frac{3bh}{n^2}, \ldots \frac{nbh}{n^2}$;

und ihre Abſtände z′ bezüglich $\frac{h}{n}, \frac{2h}{n}, \frac{3h}{n} \ldots \frac{nh}{n}$ und es folgt nun:

$$W' = \Sigma(fz'^2) = \frac{bh}{n^2}\cdot\left(\frac{h}{n}\right)^2 + \frac{2bh}{n^2}\left(\frac{2h}{n}\right)^2 + \frac{3bh}{n^2}\left(\frac{3h}{n}\right)^2 + \ldots \frac{nbh}{n^2}\left(\frac{nh}{n}\right)^2$$

$$= \frac{bh^3}{n^4}[1 + 2^3 + 3^3 + \ldots + n^3] = \frac{bh^3}{n^4}\cdot\frac{n^4}{4} = \frac{bh^3}{4},$$

denn es iſt für ein großes n : $1 + 2^3 + 3^3 \ldots n^3 = \frac{n^4}{4}$.

---

*) Die Theorie der höheren arithmetiſchen Reihen, giebt folgende Grenzwerthe, wenn n eine ſehr große Zahl bedeutet:

$$1 + 2^2 + 3^2 + 4^2 + \ldots n^2 = \frac{n^3}{3}, \text{ allgemein:}$$

$$1 + 2^m + 3^m + 4^m + \ldots n^m = \frac{n^{m+1}}{m+1}.$$

Die wirkliche neutrale Schicht HJ geht durch den Schwerpunkt G, ſo daß $AG = d = \frac{2}{3} h$ iſt.

Aus (4) folgt nun

$$W = W' - Fd^2 = \frac{bh^3}{4} - \frac{bh}{2} \cdot \left(\frac{2h}{3}\right)^2 = \frac{bh^3}{4} - \frac{2bh^3}{9} = \frac{bh^3}{36}.$$

Für den dreieckigen Querſchnitt iſt alſo:

$$W = \frac{bh^3}{36} \quad \ldots\ldots \quad (6)$$

Wenn ein im Querſchnitt dreieckiger Balken mit einem rechteckigen von ſonſt gleichen Dimenſionen verglichen wird, ſo ergiebt ſich ſeine Widerſtandsfähigkeit dreimal kleiner als bei dieſem, obwohl ſein Querſchnitt nur zweimal kleiner iſt. Rechteckige Balken ſind alſo vortheilhafter.

Giebt nebenſtehende Figur einen kreisförmigen Querſchnitt an zum Radius $AC = r$, und liegt die neutrale Schicht in AB, ſo kann man den Viertelskreisbogen AD in eine ſehr große Anzahl (n) gleiche Theile theilen und durch die Theilpunkte Parallelen mit AB ziehen. Die dadurch entſtehenden Streifen haben bezüglich, von AB angefangen, die Länge: $2r\cos\frac{R}{n}$, $2r\cos\frac{2R}{n}$, $2r\cos\frac{3R}{n}$, ..., $2r\cos\frac{nR}{n}$, dagegen Breiten, die ihren Längen proportional ſind: $\frac{r\pi}{2n}\cos\frac{R}{n}$, $\frac{r\pi}{2n}\cos\frac{2R}{n}$ u. ſ. f., behandeln wir ihre Flächen als Rechtecke, ſo ſind dieſelben bezüglich $\frac{r^2\pi}{n}\left(\cos\frac{R}{n}\right)^2$, $\frac{r^2\pi}{n}\left(\cos\frac{2R}{n}\right)^2$, $\frac{r^2\pi}{n}\left(\cos\frac{3R}{n}\right)^2$, ... $\frac{r^2\pi}{n}\left(\cos\frac{nR}{n}\right)^2$. Die Abſtände z dieſer Flächen von AB ſind bezüglich $r\sin\frac{R}{n}$, $r\sin\frac{2R}{n}$, $r\sin\frac{3R}{n}$, ...$r\sin\frac{nR}{n}$. Da daſſelbe Verfahren mit dem Halbkreis unterhalb AB eingeſchlagen werden kann, ſo ergiebt ſich:

$$W = 2\left[\frac{r^2\pi}{n}\cos\frac{R^2}{n}\cdot r^2\sin\frac{R^2}{n} + \frac{r^2\pi}{n}\cos\frac{2R^2}{n}\cdot r^2\sin\frac{2R^2}{n}\right.$$
$$\left. + \frac{r^2\pi}{n}\cos\frac{3R^2}{n}\cdot r^2\sin\frac{3R^2}{n} \ldots\ldots + \frac{r^2\pi}{n}\cos\frac{nR^2}{n}\cdot r^2\sin\frac{nR^2}{n}\right]$$
$$= \frac{2r^4\pi}{n}\left[\cos\frac{R^2}{n}\sin\frac{R^2}{n} + \cos\frac{2R^2}{n}\sin\frac{2R^2}{n} + \cos\frac{3R^2}{n}\sin\frac{3R^2}{n} + \ldots.\right.$$
$$\left. + \cos\frac{nR^2}{n}\sin\frac{nR^2}{n}\right].$$

Da nun $\sin\alpha\cos\alpha = \frac{1}{2}\sin 2\alpha$, ferner aber $\sin\alpha^2 = \frac{1-\cos 2\alpha}{2}$ iſt, und wir das Summationszeichen Σ auf alle Werthe für m von 1 bis n beziehen, ſo folgt:

$$W = \frac{r^4\pi}{2n}\Sigma\left[\left(\sin\frac{2mR}{n}\right)^2\right] = \frac{r^4\pi}{4n}\Sigma\left[1-\cos\frac{4mR}{n}\right]$$

$$= \frac{r^4\pi}{4n}\Sigma(1) - \frac{r^4\pi}{4n}\Sigma\left(\cos\frac{4mR}{n}\right).$$

Nun iſt $\Sigma(1) = n$, und $\Sigma\left(\cos\frac{4mR}{n}\right) = 0$, weil für $m = 1, 2, 3 \ldots n$, der Winkel der Reihe nach alle 4 Quadranten durchläuft, und für jeden poſitiven Werth jedesmal auch ein entſprechender negativer ſich findet. Demnach iſt für den kreisförmigen Querſchnitt

$$W = \frac{r^4\pi}{4} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4).$$

Aufgabe 2. Wie verhält ſich bei ſonſt gleichen Verhältniſſen und gleichen Querſchnitten die Widerſtandsfähigkeit eines quadratiſchen Balkens zu der eines kreisförmigen?

Auflöſung. Für den quadratiſchen Balken iſt, wenn s die Seite bezeichnet:

$W_1 = \frac{s^4}{12}$, und für den kreisförmigen: $W_2 = \frac{r^4\pi}{4}$. Da nun $r^2\pi = s^2$ iſt, ſo folgt $\frac{W_1}{W_2} = \frac{s^4}{12} : \frac{r^4\pi}{4} = \frac{r^4\pi^2}{3r^4\pi} = \frac{\pi}{3} = 1{,}047$. Der Widerſtand des quadratiſchen Balkens gegen Einbiegung iſt alſo etwas größer als der des cylindriſchen.

Bezeichnet ABCD in nebenſtehender Figur einen elliptiſchen Querſchnitt mit der halben horizontalen Axe AC = a und der halben ſenkrechten Axe BE = b, und beſchreibt man mit BE einen Kreis und zieht durch Kreis und Ellipſe eine Menge horizontaler Linien, ſo werden ſich die Kreisſtreifen zu den Streifen der Ellipſe verhalten wie b : a, und eben ſo müſſen ſich die entſprechenden Werthe für W verhalten. Demnach iſt für die Ellipſe:

$$W = \frac{ab^3\pi}{4} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8).$$

Aufgabe 3. Ein elliptiſcher Balken hat mit einem cylindriſchen gleichen Querſchnitt und ſonſt gleiche Verhältniſſe; bei erſterem iſt die ſenkrechte Axe des Querſchnitts zweimal ſo groß als die horizontale. Wie verhalten ſich die Widerſtandsfähigkeiten beider Balken?

Auflöſung. Für den erſten iſt $W_1 = \frac{ab^3\pi}{4} = \frac{8a^4\pi}{4} = 2a^4\pi$,

da $b = 2a$ iſt; für den zweiten $W_2 = \frac{r^4 \pi}{4}$; da nun $r^2\pi = ab\pi = 2a^2\pi$ iſt, ſo iſt auch $W_2 = a^4\pi$; folglich $\frac{W_1}{W_2} = 2$. Die Widerſtandsfähigkeit gegen Einbiegung iſt alſo bei dem elliptiſchen Balken doppelt ſo groß als bei dem cylindriſchen.

I.

Bezeichnet A B C D in nebenſtehender Fig. I. den Querſchnitt eines hohlen parallelepipediſchen Balkens, der als Differenz zweier mit ihren Schwerpunkten zuſammenfallenden Rechtecke von den Dimenſionen b, h und b', h' angeſehen werden kann, ſo findet man das Biegungselement durch Subtraction der entſprechenden Werthe aus beiden Rechtecken.

Demnach iſt hier

$$W = \frac{bh^3 - b'h'^3}{12} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9).$$

Aufgabe 4. Ein hohler parallelepipediſcher Balken iſt 1′ breit und 1′ 8″ hoch, die Höhlung iſt 8″ breit und 1′ hoch. Wie vielmal iſt ſein Biegungsmoment größer, als wenn dieſelbe Maſſe zu einem gleichlangen quadratiſchen Balken geformt wäre?

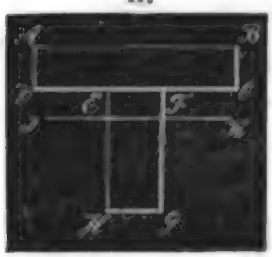
Auflöſung. Da $b = 1'$, $h = {}^5/_3'$, $b' = {}^2/_3'$, $h' = 1$, ſo folgt: $W_1 = \frac{107}{12 \cdot 27}$. Der Querſchnitt des Balkens iſt $bh - b'h' = 1$ Quadratfuß; gehörte dieſelbe einem quadratiſchen Balken an, ſo wäre $W_2 = \frac{1}{12}$. Demnach iſt $\frac{W_1}{W_2} = \frac{107}{27} = 3\frac{26}{27}$. Die Widerſtandsfähigkeit des kaſtenförmigen Körpers wäre alſo faſt 4 Mal ſo groß als die des maſſiven.

Für eine hohle Röhre mit den Radien r und r' iſt eben ſo:

$$W = \frac{(r^4 - r'^4)\pi}{4} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10).$$

Kann man den Balken nicht hohl machen, ſo läßt ſich ſein Biegungsmoment vergrößern dadurch, daß man oben oder unten Federn oder Rippen anbringt. Bezeichnet nebenſtehende Fig. II. den Querſchnitt eines in dieſer Weiſe verſtärkten Körpers, ſo muß man, um W zu beſtimmen, erſt die Lage der neutralen Schicht ermitteln. Es ſei $AB = h$, $AD = h$, $EF = b'$ und $EH = h'$; die beiden Flächen A C und E G ſind bezüglich bh und $b'h'$; ihre Schwerpunkte haben von einander die Entfernung $\frac{h + h'}{2}$, und ſind ihre Entfernungen von der neutralen Schicht bezüglich d und d', ſo iſt

II.



$d + d' = \frac{h + h'}{2}$ und $bh \cdot d = b'h'd'$, folglich iſt $d = \frac{b'h'(h + h')}{2(bh + b'h')}$,

und $d' = \frac{bh(h + h')}{2(bh + b'h')}$.

Da die Biegungselemente für beide Flächentheile auf die gemeinſchaftliche neutrale Schicht JK bezogen werden müſſen; ſo iſt der Antheil für ABCD

$$= \frac{bh^3}{12} + bh\left[\frac{b'h'(h + h')}{2(bh + b'h')}\right]^2,$$

und der Antheil für EFGH

$$= \frac{b'h'^3}{12} + b'h'\left[\frac{bh(h + h')}{2(bh + b'h')}\right]^2. \quad \text{Folglich:}$$

$$W = \frac{bh^3 + b'h'^3}{12} + \frac{bhb'h'(h + h')^2}{4(bh + b'h')}.$$

Die letzte Rechnung möge zugleich dazu dienen, um das Verfahren anſchaulich zu machen, durch welches man das Biegungselement W für zuſammengeſetzte Flächen findet. Die großartigſte Anwendung der Theorie des Biegungsmomentes iſt in der neueren Zeit in der Conſtruction der ſchmiedeeiſernen Röhrenbrücken gemacht worden, z. B. der Conway- und der Britannia-Brücke. Dieſe Brücken ſind aus Blechſtücken zuſammengenietet, bilden einen hohlen parallelepipediſchen Kaſten, deſſen Deck- und Bodenwand durch eine aus gleichem Blech conſtruirte Zellenreihe beſtehen. Vergleiche die Querſchnittsform in nebenſtehender Figur. Bei der Britanniabrücke enthält die Deckwand 8, die Bodenwand 6 Zellen. Um für dieſen Querſchnitt das Biegungselement W zu finden, ſo ſetze man AC = h, AB = b, die Blechdicke = d, die Zellenhöhe = h', ſo erhält man

für die beiden Seitenwände: $W_1 = \frac{dh^3}{6}$;

für die obere und untere Querwand ſehr nahe: $W_2 = \frac{bdh^2}{2}$;

für die obere und untere Zellendecke ſehr nahe: $W_2 = \frac{bd(h - 2h')^2}{2}$

für n Zellenſcheidewände angenähert: $W_4 = \frac{nh_1d(h - h')^2}{4}$.

Demnach iſt

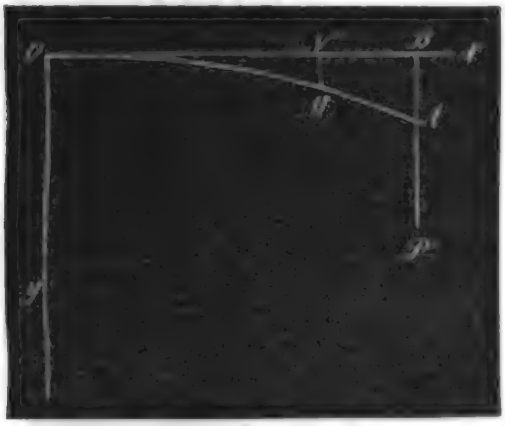
$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4$$

$$= \frac{d}{2}\left(\frac{h^3}{3} + bh^2 + b(h - 2h')^2 + \frac{nh'(h - h')^2}{2}\right) \ldots\ldots (11).$$

Kehren wir nun zur Erörterung der elaſtiſchen Linie zurück, ſo müſſen wir — die prismatiſche Geſtalt des Körpers vorausgeſetzt — drei Arten elaſtiſcher Linien herausheben, die bedingt werden durch die Wirkungsweiſe der biegenden Kräfte. Im erſten Falle wirkt die Kraft am Ende des Körpers ſenkrecht gegen ſeine Längenrichtung; im zweiten wirken viele Kräfte, gleichmäßig über die Länge des Körpers vertheilt, ſenkrecht gegen dieſelbe; und im dritten Falle wirken die biegenden Kräfte in der Längenrichtung des Körpers ſelbſt. In allen drei Fällen wollen wir annehmen, der Körper werde nur wenig gebogen, ſo daß die Abweichung von der urſprünglich geraden Richtung nur gering ſei. Durch dieſe Annahme wird die Unterſuchung ſehr vereinfacht und doch leidet die praktiſche Anwendbarkeit der Reſultate nichts darunter.

Erſter Fall. Die biegende Kraft wirkt am Ende des Körpers ſenkrecht gegen ſeine Längenrichtung.

Es ſei O M A in beiſtehender Figur die Lage der neutralen Schicht eines gebogenen Körpers von der Länge l, der bei O horizontal feſtgeklemmt iſt und durch eine bei A vertikal wirkende Kraft P gebogen wird. Die Curve O M A wollen wir auf die horizontale Abſciſſenare O X und die vertikale Ordinatenare O Y beziehen. Es ſei O N = x, N M = y. Da der Balken nur wenig aus der horizontalen Lage heraustreten ſoll, ſo können wir annähernd O B = O A = l ſetzen, alſo N B = l — x. Bezeichnen wir nun mit ϱ den Krümmungshalbmeſſer in M, ſo folgt nach unſerer früheren Entwickelung (Gl. 3)



$$P\varrho\,(l-x) = WE \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (12).$$

Bezeichnen wir den Bogen O M mit s, ſo lehrt die analytiſche Geometrie, daß $\varrho = \frac{ds^3}{d^2y\,dx}$.

Für unſern Fall iſt es erlaubt $ds = dx$ zu ſetzen, es wird dann $\varrho = \frac{dx^2}{d^2y}$, und obige Gleichung nimmt nun folgende Geſtalt an:

$$\frac{WE}{P} \cdot \frac{d^2y}{dx^2} = l - x.$$

Die erſte Integration liefert:

$$\frac{WE}{P} \cdot \frac{dy}{dx} = lx - {}^1/_2 x^2,$$

und die zweite:

$$\frac{WE}{P}\, y = \frac{lx^2}{2} - \frac{x^3}{6}.$$

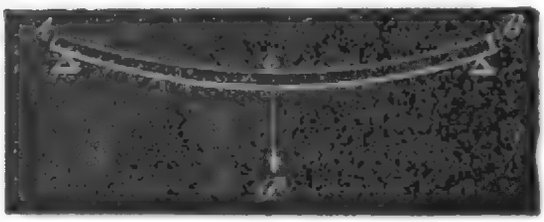
Conſtanten ſind keine hinzuzufügen, weil ſowohl $\frac{dy}{dx}$ als auch y mit $x = o$ verſchwinden. Die Gleichung der elaſtiſchen Curve des erſten Falls iſt demnach:

$$y = \frac{P}{6\,W\,E}\,(3\,l\,x^2 - x^3) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (13).$$

Setzen wir die Tiefe der Abbiegung des Endpunktes $A\,B = h$, ſo wird $y = h$, wenn $x = l$ geſetzt wird, und es folgt:

$$h = \frac{P\,l^3}{3\,W\,E} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (14).$$

Die Abbiegung wächſt alſo wie die dritten Potenzen der Länge des Balkens.



Iſt ein Balken A B von der Länge l in beiſtehender Figur an ſeinen Endpunkten A und B unterſtützt und in der Mitte mit dem Gewicht P belaſtet, ſo werden ſich die beiden Enden C A und C B eben ſo verhalten, als ob der Balken in C feſtgehalten und in A und B durch zwei aufwärts gerichtete Kräfte, je von der Stärke $\frac{1}{2}$ P gebogen würde. Man findet nun die Größe der Abbiegung h, wenn man in Gl. 14 für P den Werth $\frac{1}{2}$ P und für l den Werth $\frac{1}{2}$ l ſetzt, für dieſen Fall iſt alſo:

$$h = \frac{P\,l^3}{48\,W\,E} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (15).$$

Aufgabe 5. Eine 15′ lange ſchmiedeeiſerne Schiene von 1″ Breite und 1″ Höhe iſt an beiden Enden unterſtützt und in der Mitte mit 100 Pfd. belaſtet, um wie viel wird ſie ſich durch den Einfluß dieſer Belaſtung einbiegen?

Auflöſung. Da E für Schmiedeeiſen = 29000000 Pfd. iſt und dieſe Zahl ſich ſtets auf den Quadratzoll bezieht, ſo müſſen alle Längen auch bei dieſen Rechnungen auf Zolle reducirt werden. Es iſt alſo $l = 12 \,.\, 15 = 180''$, $P = 100$, $W = \frac{1}{12}$ nach (5). Hieraus ergiebt ſich:

$$h = \frac{100 \,.\, 180^3}{4 \,.\, 29000000} = \frac{18^3}{4 \,.\, 290} = 5{,}03''.$$ Die Einbiegung beträgt alſo etwas über 5 Zoll.

Hätte die Schiene bei gleichem Querſchnitt nur $\frac{3}{4}$″ Breite, alſo $\frac{4}{3}$″ Höhe gehabt, ſo wäre $W = \frac{4}{27}$ geworden, und die Einbiegung hätte nur 2,83 betragen; hätte die Schiene aber $\frac{1}{2}$″ Breite und 2″ Höhe gehabt, ſo betrug die Einbiegung nur 1,26 Zoll.

Aufgabe 6. Wir denken uns eine ſchmiedeeiſerne Röhrenbrücke von der Einrichtung der Britannia-Brücke (vergl. Figur S. 536) und annähernd gleichen Verhältniſſen. Ihre freie Länge zwiſchen den Pfeilern ſei 460′, ihre Höhe $h = 27'$, Breite $b = 14\frac{2}{3}'$, Zellenhöhe $h' = 2'$, Blechſtärke $d = \frac{1}{4}''$. Mit welchem Gewicht P kann man dieſe Brücke in der Mitte belaſten, wenn die Einbiegung, die davon herrührt, einen Zoll betragen ſoll?

Auflöſung. Aus (15) folgt $P = \frac{48\,W\,E\,h}{l^3}$.

Nach (11) iſt $W = \frac{d}{2}\left[\frac{h^3}{3} + b\,h^2 + b\,(h - 2\,h')^2 + \frac{n\,h'\,(h - h')^2}{2}\right]$.

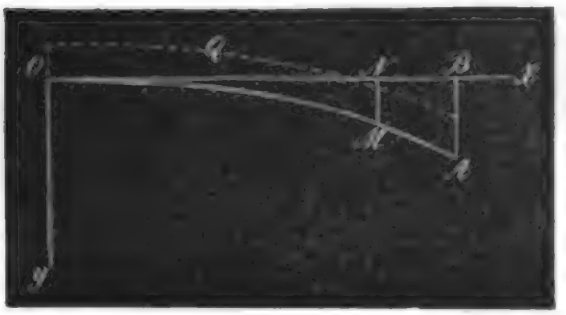
Hierin iſt $d = 1/4$, $h = 27 \cdot 12 = 324$, $b = 14^2/_3 \cdot 12 = 176$, $h' = 2 \cdot 12 = 24$, alſo $h - 2\,h' = 276$, und $h - h' = 300$, $n = 12$. Es folgt: $W = 7022520$; E iſt 29000000 Pfd., h hat in der obigen Formel für P den Werth 1, l iſt gleich $460 \times 12 = 5520$. Hieraus folgt:

$$P = \frac{48 \cdot 7022520 \cdot 29000000}{5520^3} = 56796 \text{ Pfd.}$$

Die Widerſtandsfähigkeit der wirklichen Britannia-Brücke iſt noch größer als das eben gefundene Reſultat, weil einige günſtige Verhältniſſe hier nicht in Rechnung genommen ſind. So iſt z. B. die Röhre in der Mitte höher als an den Auflegepunkten, die Vernietung der Bleche iſt mittelſt Winkeleiſen geſchehen, ſo daß die Bleche durch hervortretende Rippen bedeutend geſteift ſind, und iſt auch die durchſchnittliche Blechſtärke größer, als wir oben angenommen haben.

Zweiter Fall. Die biegenden Kräfte ſind gleichmäßig über die ganze Länge des Körpers verbreitet und wirken ſenkrecht gegen ſeine Längsrichtung. Dieſer Fall tritt ein, wenn ein horizontaler Balken eine gleichmäßig über ihn verbreitete Laſt zu tragen hat, auch ſchon wenn ſein eigenes Gewicht auf ihn einwirkt.

Es bezeichne OMA in beiſtehender Figur die Lage der neutralen Schicht eines bei O horizontal eingeſpannten Balkens, über deſſen ganze Länge die Laſt Q gleichmäßig verbreitet iſt. Es ſei wieder $OA = OB = l$, $ON = x$, $NM = y$. Auf das Gleichgewicht im Punkte M wirkt blos die Laſt über MA von der Stärke $\frac{Q\,(l - x)}{l}$, und der Schwerpunkt dieſes Theils der Laſt iſt Angriffspunkt der Kraft $\frac{Q\,(l - x)}{l}$, der



Arm der Kraft für M als Centrum iſt alſo $\frac{l - x}{2}$. Das ſtatiſche Moment Pp (Gl. 3) hat alſo für unſern Fall den Werth $\frac{Q\,(l - x)^2}{2\,l}$ und die Gleichung (3) nimmt folgende Geſtalt an:

$$W\,E = \frac{Q\,(l - x)^2\,\varrho}{2\,l} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (16).$$

Nimmt man wieder, wie oben, für ϱ den angenäherten Werth $\frac{d\,x^2}{d^2\,y}$, ſo folgt:

$$WE\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{Q(l-x)^2}{2l} = Q\left(\frac{l}{2} - x + \frac{x^2}{2l}\right).$$

Zwei auf einander folgende Integrationen liefern die Reſultate:

$$WE\frac{dy}{dx} = Q\left(\frac{lx}{2} - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{6l}\right), \text{ und}$$

$$WEy = Q\left(\frac{lx^2}{4} - \frac{x^3}{6} + \frac{x^4}{24l}\right); \text{ oder}$$

$$y = \frac{Qx^2}{24WEl}(6l^2 - 4lx + x^2) \ldots\ldots (17).$$

Für $x = l$ erhalten wir den Werth der Abbiegung $AB = h$.

$$h = \frac{Ql^3}{8WE} \quad \ldots\ldots (18).$$

Wirkte neben der Laſt Q am Endpunkte A des Balkens noch eine Laſt P vertikal abwärts, ſo wäre das Maß der Abbiegung:

$$h' = \frac{l^3}{WE}\left(\frac{P}{3} + \frac{Q}{8}\right) \quad \ldots\ldots (19).$$

Iſt die Laſt Q (ſ. beiſtehende Figur) gleichmäßig über einen horizontalen Balken $AB = l$ verbreitet, der in ſeinen beiden Endpunkten A und B unterſtützt iſt, ſo kann man ſich vorſtellen, der Balken ſei in ſeiner Mitte C feſtgehalten, an jedem Endpunkte wirke aber eine Kraft vertikal aufwärts mit der Stärke der Gegendrücke der Unterſtützungspunkte, alſo mit der Stärke $\frac{Q}{2}$, dieſer Kraft entgegen aber wirke die über jede Balkenhälfte gleichmäßig vertheilte Laſt $\frac{Q}{2}$. Man wird demnach für dieſen Fall die Abbiegung h'' des Punktes C finden, wenn man in die Formel (19) $\frac{Q}{2}$ für P, und $-\frac{Q}{2}$ für Q, und $\frac{l}{2}$ für l ſetzt. Es folgt:

$$h'' = \frac{l^3}{8WE}\cdot\left(\frac{Q}{6} - \frac{Q}{16}\right) = \frac{5}{8}\cdot\frac{Ql^3}{48WE} \quad \ldots\ldots (20).$$

Aufgabe 7. Ein 10′ langer, 8″ breiter und 1′ hoher hölzerner Balken, der an beiden Enden unterſtützt iſt, wird mit einer gleichmäßig über ſeine Länge verbreiteten Laſt von 10000 Pfd. belaſtet. Wie viel beträgt die Einbiegung in der Mitte des Balkens?

Auflöſung. Es iſt $W = \frac{8.12^3}{12} = 1152$, $l = 120''$, $E = 1800000$ Pfund. Alſo:

$$h'' = \frac{5.10000\,120^3}{8.48.8.12^2.1800000} = 0{,}11''.$$

Die Einbiegung beträgt weniger als $^1/_9$ Zoll.

Aufgabe 8. Um wie viel wird die in Aufgabe 6 gedachte eiſerne Röhrenbrücke ſich durch ihr eigenes Gewicht in der Mitte einſenken?

Auflöſung. Zunächſt muß das Gewicht der Brücke ermittelt werden. Behalten wir die bei Aufſtellung der Gl. (11) eingeführten Bezeichnungen bei, ſo haben die beiden Seitenwände einen Querſchnitt: $F_1 = 2\,d\,h$, für die vier horizontalen Deckwände iſt $F_2 = 4\,b\,d$, und für die n Zellenwände iſt $F_3 = n\,d\,h'$, folglich der geſammte Querſchnitt $F = F_1 + F_2 + F_3 = d\,(2\,h + 4\,b + n\,h')$. Da hier $d = {}^1/_4''$, $h = 324''$, $b = 176''$, $h' = 24''$, $n = 12$, ſo folgt $F = 410$ Quadratzoll. Setzen wir das ſpec. Gew. des Schmiedeeiſens gleich 7,788, ſo folgt als das Gewicht des 460′ langen Brückenkörpers $Q = \frac{410 \,.\, 460 \,.\, 66 \,.\, 7{,}788}{144.}$ = 673207 Pfd. Setzen wir dieſen Werth in Gl. 20, und nehmen aus der Berechnung der Aufgabe 6 noch für W, E und I die entſprechenden Werthe, ſo folgt:

$$h'' = \frac{5 \,.\, 673207 \,.\, 5520^3}{8 \,.\, 48 \,.\, 7022520 \,.\, 29000000} = 7{,}2396''.$$

Die Einbiegung beträgt alſo nicht ganz $7^1/_4$ Zoll.

(Es iſt ſchon oben darauf hingedeutet, das von uns berechnete Beiſpiel nicht mit der wirklichen Britannia-Brücke zu verwechſeln, von welcher nur einige Dimenſionen und die allgemeine Conſtruction in die Aufgaben aufgenommen ſind. So beträgt bei der Britannia-Brücke das Gewicht einer einzelnen Röhre nicht, wie wir berechnet, 673207 Pfd. oder etwa 6120 Centner, ſondern 34000 Centner, alſo mehr als das Fünffache, ſo daß bei geſchickter Vertheilung dieſer Maſſe die Einbiegung noch bedeutend kleiner ausfallen muß, als unſer Rechnungsreſultat ergiebt.)

Dritter Fall. Die biegende Kraft wirkt in der Längsrichtung des Körpers.

Es bezeichne O M A in beiſtehender Figur wiederum die neutrale Schicht eines prismatiſchen Körpers, der bei O gegen ein unbewegliches Object ſich ſtützt und auf den bei A in der Richtung A O eine Kraft P wirkt, ſo daß er ſich biegt. Die Curve O M A beziehen wir auf die Abſciſſenaxe O X und auf die Ordinatenaxe O Y, ſetzen O N = x, N M = y, O A = a, O M A = l. Der Arm der Kraft P in Bezug auf M iſt jetzt N M = y, und die Gleichung (3) nimmt für dieſen Fall folgende Geſtalt an:

$$W\,E = P\,y\,\varrho.$$

Da die Curve ſich gegen die Abſciſſenaxe krümmt, ſo iſt $\varrho = -\frac{ds^3}{d^2y\,dx}$ oder angenähert $-\frac{dx^2}{d^2y}$, deshalb folgt:

$$W\,E\,\frac{d^2y}{dx^2} = -P\,y \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (21).$$

Nehmen wir

$y = A \sin bx$, ſo daß A und b zunächſt unbeſtimmt ſind, ſo folgt $\frac{dy^2}{dx^2} = -Ab^2 \sin bx$. Werden dieſe beiden Werthe in (21) ſubſtituirt, ſo folgt:

$$b^2 = \frac{P}{WE} \text{ oder } b = \sqrt{\frac{P}{WE}}; \text{ folglich:}$$

$$y = A \sin x \sqrt{\frac{P}{WE}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (22).$$

Der Coefficient A bleibt zunächſt noch unbeſtimmt. Für $x = a$ muß $y = o$ ſein; deshalb muß:

$$a \sqrt{\frac{P}{WE}} = n\pi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (23)$$

ſein, wobei n irgend eine ganze Zahl bezeichnet. Iſt n eine Zahl > 1, ſo giebt es zwiſchen $n = o$ und $x = a$ noch andere Werthe von x, für welche $\sin x \sqrt{\frac{P}{WE}} = o$, alſo auch $y = o$ iſt; d. h. alsdann iſt der Balken ſo gebogen, daß die Linie O M A mehrere Mal die Axe O X ſchneidet. Für den einfachſten Fall iſt $n = 1$, alſo:

$$a \sqrt{\frac{P}{WE}} = \pi \text{ oder: } . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (24)$$

$$P = \frac{WE\pi^2}{a^2}.$$

Dem größten Werth von a entſpricht der kleinſte Werth von P, der größte Werth von a iſt aber l, folglich iſt der Grenzwerth für P:

$$P' = \frac{WE\pi^2}{l^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (25).$$

Erſt wenn P dieſen Grenzwerth überſchritten hat, iſt eine Einbiegung des Körpers denkbar.

Soll nun noch der in (22) unbeſtimmt gebliebene Coefficient A beſtimmt werden, ſo rectificire man die Curve O M A und ſetze ihre Geſammtlänge gleich l.

Iſt $OM = s$, ſo ergiebt ſich unter der Vorausſetzung, daß A nur klein bleibe:

$$ds = \sqrt{dx^2 + dy^2} = dx \sqrt{1 + \frac{A^2P}{WE} \cos\left(x\sqrt{\frac{P}{WE}}\right)^2}$$

$$= dx \left[1 + \frac{A^2P}{2WE} \cos\left(x\sqrt{\frac{P}{WE}}\right)^2\right]$$

$$= dx \left[1 + \frac{A^2P}{4WE}\left(1 + \cos 2x\sqrt{\frac{P}{WE}}\right)\right]; \text{ ferner durch Integration:}$$

$$s = x\left(1 + \frac{A^2P}{4WE}\right) + \frac{A^2}{8}\sqrt{\frac{P}{WE}} \sin 2x\sqrt{\frac{P}{WE}}.$$

Für $x = a$, wird $s = l$, es iſt aber auch $\sin 2a \sqrt{\frac{P}{WE}} = o$, weil $\sin a \sqrt{\frac{P}{WE}} = o$ iſt; alſo:

$$l = a\left(1 + \frac{A^2 P}{4 WE}\right).$$ Hieraus ergiebt ſich:

$$A = 2\sqrt{\frac{(l-a)WE}{aP}} = 2\sqrt{\frac{\left(l - \pi\sqrt{\frac{WE}{P}}\right)}{\pi}\sqrt{\frac{WE}{P}}} = 2\sqrt{\frac{l}{\pi}\sqrt{\frac{WE}{P}} - \frac{WE}{P}} \quad (26)$$

Denn nach (24) iſt $a = \pi\sqrt{\frac{WE}{P}}$.

Bezeichnet h die ſtärkſte Abbiegung des Körpers, ſo wird $y = h$, wenn $x = \frac{a}{2}$ iſt. Es folgt hierfür:

$$h = A = 2\sqrt{\frac{l}{\pi}\sqrt{\frac{WE}{P}} - \frac{WE}{P}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (27).$$

Eine einfachere Formel für h giebt folgende Betrachtung. Es ſei $P = P' + p$, und p bleibe gegen P' nur klein. Es folgt nun mit Berückſichtigung von (25)

$$\frac{WE}{P} = \frac{WE}{P'+p} = \frac{WE}{P'} - \frac{WE}{P'}\cdot\frac{p}{P'} = \frac{l^2}{\pi^2}\left(1 - \frac{p}{P'}\right);$$ und

$$\sqrt{\frac{WE}{P}} = \frac{l}{\pi}\left(1 - \frac{p}{2P'}\right).$$ Dieſe Werthe ſubſtituire man in (27) und es folgt:

$$h = \frac{2l}{\pi}\sqrt{\frac{p}{2P'}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (28).$$

Aufgabe 9. Wie viel kann eine 20′ hohe gußeiſerne Hohlſäule, deren Radien 6″ und 5″ ſind, tragen, bevor ſie ſich zu biegen beginnt?

Auflöſung. Nach (25) iſt $P' = \frac{WE\pi^2}{l^2}$. Es iſt nach (10) $W = \frac{r^4 - r'^4}{4}\pi = 2108$; E iſt für Gußeiſen = 17000000; l iſt = $20 \cdot 12 = 240$, alſo: $P' = \frac{2108 \cdot 17000000 \cdot \pi^2}{240^2} = 6140430$ Pfd.

Aufgabe 10. Nach Gerſtner ſoll die größte Einbiegung bei Eiſen $\frac{1}{480}$ der Länge nicht überſteigen. Um welchen Bruchtheil $\left(\frac{p}{P'}\right)$ kann die Tragfähigkeit P' eines Ständers von Eiſen überſchritten werden, bis dieſe Grenze erreicht iſt?

Auflöſung. Setzen wir in (28) $h = \frac{l}{480}$, ſo folgt: $\frac{\pi}{960} = \sqrt{\frac{p}{2P'}}$,

also ist $\frac{p}{P'} = \frac{2\pi^2}{960^2} = 0{,}0000214$. Hieraus kann man abnehmen, daß, wenn die Belastung P' überschritten ist, sehr bald eine gefährliche Einbiegung erfolgen wird. W. S.

Linien, isobarometrische, s. Atmosphäre Bd. I. S. 522.
Linien, isoclinische, s. Neigung der Magnetnadel.
Linien, isodynamische, s. Magnetismus der Erde.
Linien, isogonische, s. Abweichung, magnetische.
Linien, isothermische, s. Isothermen.

Linsenglas, dioptrische Linse, sphärische Linse (lat. lens dioptrica; franz. lentille sphérique, vepre dioptrique; engl. lens) heißt jede kleine Glastafel, deren eine Fläche eben und die andere ein Abschnitt einer Kugelfläche ist, oder deren beide Flächen Abschnitte von Kugelflächen sind. Gewöhnlich ist eine Linse kreisrund begrenzt, doch ist dies nicht wesentlich; jedenfalls muß aber die Kreisfläche, welche durch den Durchschnitt beider Oberflächen bestimmt wird, auf der die Mittelpunkte beider Kugeln verbindenden Geraden senkrecht stehen. Da man eine Ebene als einen kleinen Theil einer Kugeloberfläche von unendlich großem Halbmesser ansehen kann, so könnte man eine Linse auch als eine kleine Glastafel erklären, deren beide Flächen in jedem Falle Abschnitte von Kugelflächen sind.

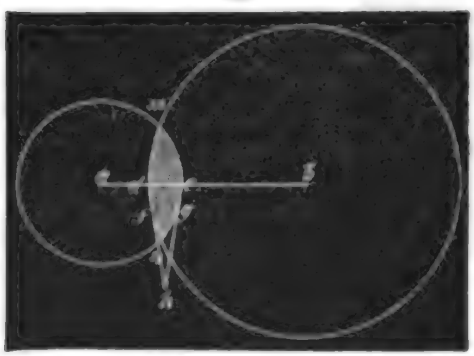
A. Form der Linsen.

Man unterscheidet sechs Linsenformen und zwar drei convexe oder erhabene und drei concave oder hohle: convex-concav Figur 1, plan-convex Fig. 2 und concav-convex Fig. 3, ferner concav-concav Fig. 4, plan-concav Fig. 5 und convex-concav Fig. 6. Die convexen Linsen haben das Gemeinsame, daß sie von der Mitte nach dem Rande zu dünner werden, während bei den concaven Linsen das Umgekehrte der Fall ist.

I.

1) Die convex-convexe oder biconvexe oder doppeltconvexe Linse kann man sich als das gemeinschaftliche Stück zweier sich schneidenden Kugeln denken, wie es nebenstehende Fig. II. zur Anschauung bringt, in welcher das schattirte Stück mn das Profil der biconvexen Linse ist. Die Linie ab, welche die Mittelpunkte beider Kugeln verbindet, heißt die Axe der Linse; ac ist der Halbmesser, nach welchem die eine Fläche men, bd der Halbmesser, nach welchem die andere Fläche mdn geschliffen ist. Die beiden Halbmesser können gleich oder ungleich sein.

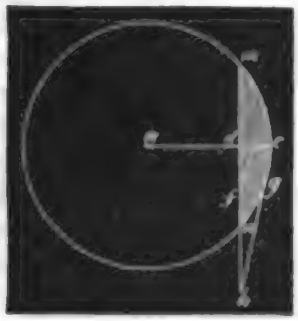
II.



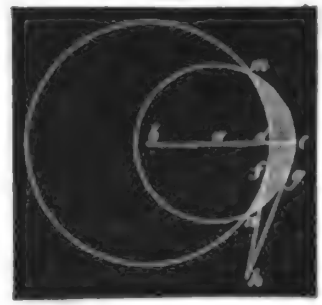
2) Die plan-convexe Linſe kann man ſich dadurch entſtanden denken, daß von einer Kugel mittelſt einer durchgelegten Ebene ein Stück abgeſchnitten worden iſt. Eine auf die Schnittebene ſenkrecht und durch den Mittelpunkt der Kugel gelegte Ebene giebt (ſ. in der beiſtehenden Fig. I.) m n das Profil dieſer Linſe. Die Axe iſt die von dem Mittelpunkte der Kugel aus auf der Ebene ſenkrecht ſtehende Linie a d c.

3) Die concav-convexe Linſe kann man anſehen als das nicht gemeinſchaftliche Stück zweier ſich ſchneidenden Kugeln. Der ſchattirte Theil m n in der beiſtehenden Fig. II. macht das Profil anſchaulich. Wegen der Aehnlichkeit dieſes Profils mit der Mondſichel nennt man eine ſolche Linſe auch Lunula oder Meniskus (jenes aus dem Lat., dieſes aus dem Griech. ein kleiner Mond). Die Axe iſt die beide Mittelpunkte verbindende gerade Linie b a d c.

I.



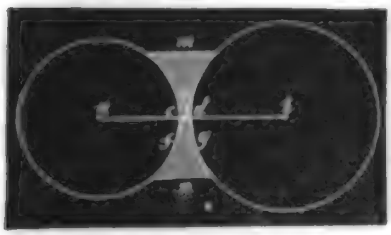
II.



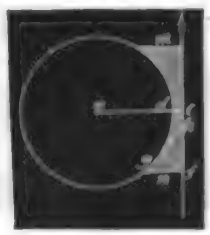
4) Die concav-concave oder biconcave oder doppeltconcave Linſe ſtellt den Raum vor zwiſchen zwei ſich nicht treffenden Kugeln. Eine durch beide Mittelpunkte gelegte Ebene (ſ. beiſtehende Fig. III.) giebt das Profil derſelben m n. Beide Kugeln können gleiche oder ungleiche Halbmeſſer haben. Die Axe a c d b verbindet wieder beide Mittelpunkte.

5) Die plan-concave Linſe bildet den Raum zwiſchen einer Kugel und einer dieſe nicht treffenden Ebene. Das Profil m n in beiſtehender Fig. IV. erhält man durch eine Ebene, welche durch den Mittelpunkt der Kugel geht und auf der angegebenen Ebene ſenkrecht ſteht. Die Axe liegt in der von dem Mittelpunkte der Kugel aus auf die Ebene gefällten Senkrechten a d c.

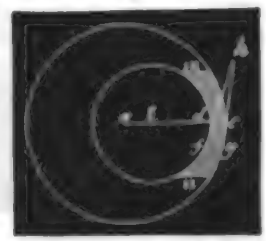
III.



IV.



V.



6) Die convex-concave Linſe kann man anſehen als einen Theil des Raumes zwiſchen zwei Kugeln, von denen die kleinere innerhalb der größeren liegt, ohne daß die Mittelpunkte zuſammenfallen. Die Axe liegt in der die Mittelpunkte verbindenden Linie a b d e (ſ. beiſtehende Fig. V.) und geht durch die Mitte

der beiden Flächen. Eine durch die Mittelpunkte beider Kugeln gelegte Ebene giebt das Profil m n.

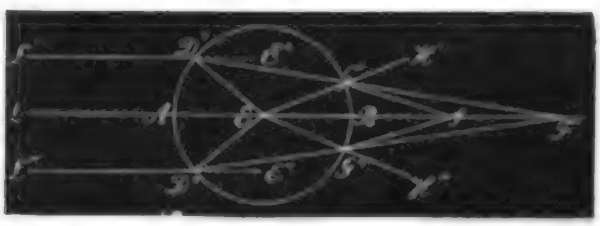
Bei allen dieſen Linſengläſern ſind die Berührungsebenen an den Punkten c und d, in denen die Axe die Flächen der Linſen trifft, parallel. Daß bei den plan-converen und plan-concaven Linſen die eine Berührungsebene mit der ebenen Fläche der Linſe zuſammenfällt, verſteht ſich von ſelbſt. Die Berührungsebenen an anderen Punkten ſchneiden ſich und zwar ſo, daß bei den converen Linſen (ſ. f h und g h in den converen Profilen) der Durchſchnittspunkt von der Axe an gerechnet nach dem Rande hin liegt, während bei den concaven Linſen (ſ. f h und g h in den concaven Profilen) gerade das Umgekehrte der Fall iſt. Hieraus folgt, daß man eine convere Linſe anſehen kann als eine Verbindung von unendlich vielen ſchmalen Prismen, welche den brechenden Winkel von der Axe abwenden, und eine concave Linſe als eine eben ſolche Verbindung, nur daß die Prismen den brechenden Winkel in der Richtung von dem Rande nach der Axe hin liegen haben. Im Allgemeinen werden daher die converen Linſen, die von einem leuchtenden Punkte ausgehenden Lichtſtrahlen nach ihrem Durchgange durch dieſelben convergenter machen, d. h. einander näher bringen oder in einem kleineren Raume ſammeln, und daher führen ſie auch den Namen Sammlungs- oder (lat.) Collectivgläſer, im Gegenſatze zu den concaven Linſen, welche aus demſelben Grunde (vergl. Art. Brechung des Lichtes, Bd. I. S. 876) dieſe Lichtſtrahlen divergenter machen, weshalb ſie auch Zerſtreuungsgläſer genannt werden.

Man kann auch Linſen mit andern als Kugelflächen, z. B. mit elliptiſchen, paraboliſchen ꝛc. Flächen ſchleifen, aber man ſtellt vorzugsweiſe nur ſphäriſche, d. h. kugelflächige Linſen her, weil nur dieſe mit Leichtigkeit und Genauigkeit verfertigt werden können. Statt des Glaſes benutzt man auch andere durchſichtige Körper, z. B. Edelſteine, ſogar mit Linſen aus Eis hat man Verſuche angeſtellt; indeſſen ſind dies mehr Ausnahmefälle.

B. Wirkung der Linſen.

Um die Wirkung der Linſen auf Lichtſtrahlen, welche durch dieſelben gehen, kennen zu lernen, betrachten wir zunächſt den Durchgang der Lichtſtrahlen an einer Kugel.

L′D′ und L″D″ ſeien (ſ. beiſtehende Figur) zwei parallele Lichtſtrahlen, welche in gleicher Entfernung von der mit ihnen parallelen Axe L A C B der Kugel



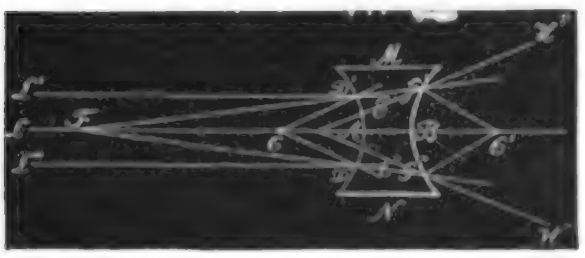
auf die convere Fläche auffallen. Dieſe Strahlen gehen nicht in der Richtung L′D′E′ und L″D″E″ weiter, ſondern werden (vergl. Art. Brechung des Lichtes) dem Einfallslothe C D′ und C D″, da die Halbmeſſer der Kugel auf der Berührungsebene des Einfallspunktes D′ und D″ ſenkrecht ſtehen, zugebrochen; ſie bekommen alſo die convergente Richtung D′G′ und D″G″ und würden ver-

längert die Axe in einem Punkte F ſchneiden. Dieſer Punkt iſt der Vereinigungspunkt aller mit der Axe parallelen und von dieſer gleich weit abſtehenden Lichtſtrahlen, falls dieſe in eine Glasmaſſe oder überhaupt in ein dichteres Mittel mit converer Oberfläche eintreten. Wenn das dichtere Mittel ſich nicht ſo weit erſtreckt, daß dieſer Punkt F noch innerhalb deſſelben liegt, ſo erleidet der Gang der Lichtſtrahlen wieder eine Veränderung beim Austritte an der Rückſeite, alſo bei unſerer Figur an den Punkten G′ und G″. Ziehen wir die zugehörigen Einfallslothe C G′ H′ und C G″ H″, ſo werden die Lichtſtrahlen beim Eintritte in das dünnere Mittel von denſelben a b gebrochen und müſſen ſich verlängert auf der Axe in einem Punkte f ſchneiden. Es iſt mithin der Punkt f der Vereinigungspunkt (Brennpunkt, focus) der mit der Axe parallel und in gleicher Entfernung von dieſer auffallenden und durch eine Glaskugel hindurchgehenden Lichtſtrahlen.

Denken wir uns einen leuchtenden Punkt in f, ſo ergiebt ſich ſofort, da die Brechungsverhältniſſe beim Eintritte in die Kugel und beim Austritte aus der Kugel dieſelben ſind, wie vorher, daß die in den Punkten G′ und G″ divergirend mit der Axe auffallenden Strahlen nach ihrem Austritte bei D′ und D″ mit der Axe parallel ſein müſſen. Anders iſt es aber, wenn die von der Axe ausgehenden divergirenden Strahlen andere Punkte als gerade G′ und G″ treffen. Würden dergleichen divergirende Strahlen unter gleichen Winkeln bei D′ und D″ auf die Kugel treffen, ſo ergiebt eine einfache Betrachtung der eben gebrauchten Figur, daß dann ihr Brennpunkt von der Kugel weiter abſtehen müßte, als der Brennpunkt f der parallelen Strahlen L′ D′ und L″ D″, und würden alſo umgekehrt von dieſem weiter abſtehenden Brennpunkte divergirende Strahlen ſo auf die Kugel fallen, daß ſie bei D′ und D″ austreten müßten, ſo würden dieſe nach dem Austritte convergirend zur Axe werden, und zwar um ſo ſtärker, je weiter der Punkt, von welchem ſie ausgehen, von der Kugel entfernt wäre.

In derſelben Weiſe ergiebt ſich, daß in den Punkten D′ und D″ zur Axe convergirend auffallende Strahlen einen näher als f an der Kugel liegenden Vereinigungs- oder Brennpunkt haben werden, ja daß bei immer größer werdender Convergenz dieſer Punkt ſelbſt in die Kugel fallen kann. Folglich werden Strahlen, welche von einem näher als f liegenden Punkte auf die Kugel divergent auffallen, die bei D′ und D″ zum Austritte gelangen, umgekehrt divergent zur Axe aus der Kugel austreten.

Aus dieſer Betrachtung erfahren wir im Allgemeinen den Gang der Lichtſtrahlen, welche in die convere Fläche eines dichteren oder in die concave Fläche eines dünneren Mittels eintreten. Wollen wir daſſelbe erfahren beim Eintritte in die concave Fläche eines dichteren oder in die convere Fläche eines dünneren Mediums, ſo müſſen wir die folgende Figur ins Auge faſſen.



Es ſei M N (ſ. beiſtehende Figur) das dichtere Mittel; die Mittelpunkte der Kugeln, zu welchen die concaven Flächen gehören würden, ſeien C und C′; die Axe iſt alsdann L C A B C′. Fallen in D′ und D″ in gleichen Entfernungen von der Axe

die mit derſelben parallelen Strahlen L′D′ und L″D″ auf, ſo gehen dieſe im dichteren Mittel nicht in den Richtungen D′E′ und D″E″ weiter, ſondern werden den Einfallslothen CD′ und CD″ zugebrochen, alſo divergent, ſo daß ſie rückwärts verlängert in F die Axe ſchneiden würden. Da dieſe Strahlen nun bei G′ und G″ in das dünnere Mittel übergehen, ſo werden ſie von den Einfallslothen C′G′ und C″G″ abgebrochen, alſo noch divergenter, ſo daß ihr ſcheinbarer Vereinigungspunkt, d. h. der Punkt, aus welchem ſie zu kommen ſcheinen, den man auch negativen Brennpunkt nennt, näher an der Eintrittsfläche liegen muß, als F, nämlich zwiſchen C und A. Mit der Axe parallele und in gleicher Entfernung von dieſer auf ein concaves dichteres Mittel auffallende Strahlen werden alſo in dem dichteren Mittel divergent, und aus einem dichteren Mittel in ein converes dünneres Mittel übergehende divergirende Strahlen noch mehr divergirend.

Eine nähere Betrachtung der Figur zeigt uns ferner, daß von dem Punkte C ausgehende, von der Axe alſo divergirende, Strahlen im dichteren Mittel in derſelben Richtung weiter gehen würden; daß von einem weiter als C abſtehenden Punkte ausgehende divergente Strahlen noch mehr divergent werden, alſo aus einem näher gelegenen Punkte zu kommen ſcheinen, und daß divergirende Strahlen, welche von einem näher als C liegenden Punkte ausgehen, weniger divergent werden, alſo aus einem weiter abſtehenden Punkte zu kommen ſcheinen.

Denken wir uns endlich in G′ und G″ die Strahlen H′G′ und H″G″ ſo convergirend auffallen, daß ſie bei D′ und D″ auf der entgegengeſetzten Seite austreten müſſen, ſo werden ſie nach dem Austritte parallel; überhaupt aber ergiebt ſich, daß convergent auffallende Strahlen in dem dichteren concaven Mittel weniger divergent werden.

Bis jetzt haben wir Strahlen betrachtet, welche in gleicher Entfernung von der Axe auffallen, entweder mit derſelben parallel, oder zu dieſer unter gleichem Winkel divergirend oder convergirend. Lichtſtrahlen aber, welche in verſchiedenen Entfernungen von der Axe parallel auffallen, müſſen, wie aus der Betrachtung der erſten der beiden letzten Figuren ſich ergiebt, nach dem Durchgange durch die Kugel ſich in anderen Punkten ſchneiden, als in gleicher Entfernung auffallende; laſſen wir daher eine unendliche Menge paralleler Strahlen durch eine Kugel hindurch gehen, ſo erhalten wir beim Auffangen der aus der Kugel ausgetretenen Strahlen mittelſt einer in der Axe liegenden Ebene Brennlinien (vergl. Art. Brennlinie Bd. I. S. 909) und zwar zwei Curven, die in einer Spitze zuſammentreffen, welche in dem Brennpunkte f liegt *). Daß auch durch Strahlen, welche von einem Punkte ausgehen und divergent die Kugel treffen, oder welche nach einem Punkte convergiren, Brennlinien gebildet werden müſſen, iſt nun an ſich klar.

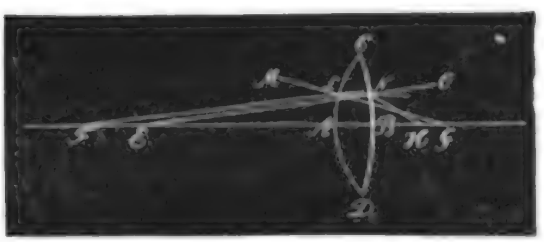
Im Allgemeinen wird man die Wirkung der Linſen nach der vorſtehenden Auseinanderſetzung beurtheilen können, da es ſich bei ihnen um den Eintritt der

*) Am ſchönſten iſt der Erfolg, wenn parallele Lichtſtrahlen auf eine Kugel fallen, durch Zeichnung dargeſtellt in dem leider nicht beendeten Werke: Darſtellende Optik von Engel und Schellbach. Taf. 14. Auch auf die übrigen Tafeln glauben wir aufmerkſam machen zu müſſen, da das, was hier durch Zeichnung geleiſtet worden iſt, die Einſicht in die Wirkung der Linſen, auf die es hier zunächſt ankommt, weſentlich erleichtert.

Lichtſtrahlen aus einem dünneren Mittel in ein dichteres mit converer oder concaver Oberfläche und um den Austritt derſelben aus einem dichteren Mittel von converer oder concaver Oberfläche in ein dünneres handelt. Wollten wir hier genau die Aufgabe löſen, für gegebene Halbmeſſer der Krümmungen und gegebene Lage der zugehörigen Mittelpunkte den Durchſchnittspunkt eines durch eine Linſe hindurchgehenden Lichtſtrahles mit der Axe zu beſtimmen, wenn wir den Ausgangspunkt des Strahles von der Axe aus und den Einfallspunkt deſſelben auf der Vorderfläche der Linſe kennen; ſo würde dies zu ſchwierigen und verwickelten Rechnungen führen. Da es jedoch bei der Anwendung der Linſen namentlich darauf ankommt, von den Gegenſtänden, welche Licht nach denſelben ſenden, möglichſt deutliche Bilder zu gewinnen, alſo die Linſen ſo einzurichten, daß die durchgehenden Strahlen nicht Brennlinien, ſondern Brennpunkte geben, oder daß die von einem Punkte ausgegangenen Lichtſtrahlen ſich wieder möglichſt in einem Punkte vereinigen oder aus einem Punkte zu kommen ſcheinen; ſo können wir von der vollen Strenge nachlaſſen und die Aufgabe dadurch vereinfachen, daß wir vorausſetzen, die Kugelflächen der Linſe bildeten verhältnißmäßig kleine Stücke von möglichſt großen Kugeln. Unter dieſer Vorausſetzung bilden die von einem Punkte der Axe divergirend ausgehenden Strahlen nur kleine Winkel mit der Axe, und wegen der geringen Krümmung der Linſenflächen kann man die zwiſchen dem Einfallspunkte und der Axe liegenden Bogen als gerade auf der Axe ſenkrecht ſtehende Linien anſehen.

a) Wirkung der Linſen, wenn das Licht von einem Punkte auf der Axe ausgeht.

Es ſei nun A B C D (ſ. beiſtehende Figur) das Profil einer biconveren Linſe, deren Mittelpunkte, E für die Fläche C B D und G für die Fläche D A C, in der Ebene des Papieres liegen, ſo daß E A B G die Axe der Linſe vorſtellt, welche mithin in A und B auf den Flächen derſelben ſenkrecht ſteht. Von F gehe ein Lichtſtrahl aus und treffe die Vorderfläche C A D in L, ſo iſt G L das Einfallsloth und der Strahl geht weniger divergent zur Axe weiter in der Richtung L N. Bei N tritt der Strahl aus der Linſe heraus, das Einfallsloth iſt jetzt E N und da nun der Winkel im dünneren Mittel größer wird als < L N E im Glaſe, ſo wird der austretende Strahl noch weniger divergent und trifft die Axe z. B. in H. Setzen wir nun A G = R, B E = r, und da die Linſe nicht ſehr dick ſein kann, F A = F B = a und A H = B H = a_1; ſo wird, wenn das Brechungsverhältniß = n : 1 iſt, ſein:



sin M L F : sin N L G = n : 1, oder < M L F : < N L G = n : 1 . . . (1)

da die Winkel klein ſein ſollen. Eben ſo erhalten wir:

< O N H : < L N E = n : 1 . . . (2)

und aus dieſen beiden Proportionen (1) und (2)

(< M L F + < O N H) : (< N L G + < L N E) = n : 1 . . . (3).

Da nun $< MLF = < F + < G$ und $< ONH = < E + < H$ iſt, ſo iſt $< MLF + < ONH = < F + < G + < E + < H$; ferner iſt $< NLG + < LNE = < E + < G$, folglich wird die Proportion (3) jetzt lauten:

$$(< F + < G + < E + < H) : (< E + < G) = n : 1$$

und folglich iſt:

$$(< F + < H) : (< E + < G) = n - 1 : 1 \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

woraus ſich ergiebt, daß

$$< F + < H = (n - 1)(< E + < G) \quad . \quad . \quad . \quad (5).$$

Nun iſt $\text{tgs } F = \frac{AL}{FA}$; $\text{tgs } H = \frac{BN}{BH}$; $\text{tgs } E = \frac{BN}{EB}$; $\text{tgs } G = \frac{AL}{AG}$;

da aber die Winkel ſehr klein ſind, ſo wird man annehmen können, daß die Winkel ſelbſt dieſe Werthe haben, und mithin würde ſein, wenn wir für die Diviſoren ihre oben angenommene Bezeichnung ſetzen:

$$< F = \frac{AL}{a}; < H = \frac{BN}{a'}; < E = \frac{BN}{r}; < G = \frac{AL}{R}.$$

Die Gleichung (5) lautet daher jetzt:

$$\frac{AL}{a} + \frac{BN}{a'} = (n - 1)\left(\frac{BN}{r} + \frac{AL}{R}\right) \quad . \quad . \quad . \quad (6).$$

Wegen der, nach der Annahme nothwendig geringen Dicke der Linſe, und da LN einen ſehr kleinen Winkel mit der Axe bilden wird, kann man $AL = BN$ annehmen, und die Gleichung (6) wird daher:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = (n - 1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R}\right) \quad . \quad . \quad . \quad (7).$$

Ganz in gleicher Weiſe, wie wir dieſe für biconvexe Linſen geltende Bedingungsgleichung gefunden haben, können wir die Bedingungsgleichung für biconcave Linſen entwickeln, oder auch unmittelbar ableiten, wenn wir die Halbmeſſer in entgegengeſetzter Beziehung, alſo negativ nehmen, und erhalten dann:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = -(n - 1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R}\right) \quad . \quad . \quad . \quad (8).$$

Da in dieſen Gleichungen AL und BN verſchwunden ſind, ſo heißt dies, daß alle von demſelben leuchtenden Punkte auf die Linſe fallenden Strahlen ſich in einem einzigen Punkte vereinigen oder, falls a' negativ wird, aus einem Punkte zu kommen ſcheinen, wobei indeſſen zu beachten iſt, daß unſere Formel nur unter gewiſſen Bedingungen gefunden worden iſt, und daß, wenn dieſe nicht vollſtändig erfüllt ſind, auch keine vollſtändige Vereinigung in einem Punkte ſtattfinden kann.

Iſt die Entfernung a des leuchtenden Punktes unendlich groß, ſind alſo alle auf die Linſe auffallenden Strahlen ſo gut wie der Axe parallel, ſo iſt $\frac{1}{a} = 0$, und wir erhalten alſo in dieſem Falle

für biconvexe Linſen $\quad \frac{1}{a'} = (n - 1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R}\right) \quad . \quad . \quad . \quad (9)$

und für biconcave Linſen $\frac{1}{a'} = -(n-1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R}\right)$ . . . (10).

Die Entfernung, in welcher ſich in dieſem Falle die Strahlen vereinigen oder zu vereinigen ſcheinen, nennt man die Brennweite und den Vereinigungspunkt ſelbſt Brennpunkt. Bezeichnen wir die Brennweite mit f, ſo erhalten wir alſo:

für biconvexe Linſen $\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R}\right)$ . . . (11)

und für biconcave Linſen $\frac{1}{f} = -(n-1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R}\right)$ . . . (12)

alſo überhaupt als Bedingungsgleichung (7) und (8)

für convexe Linſen: $\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f}$ . . . (13)

und für concave Linſen: $\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = -\frac{1}{f}$ . . . (14).

Nennen wir die Entfernungen a und a' die Vereinigungsweiten, indem a angiebt, wie weit der Punkt von der Linſe abſteht, von welchem die Lichtſtrahlen ausgehen, in welchem ſie alſo vor dem Auffallen auf die Linſe vereinigt ſind, und a', wie weit derjenige Punkt von der Linſe abſteht, in welchem die Lichtſtrahlen nach dem Durchgange durch die Linſe wieder zuſammentreffen, oder zuſammenzutreffen ſcheinen, alſo ſich wieder vereinigen oder zu vereinigen ſcheinen; ſo kann man das für convexe und concave Linſen gültige Geſetz ſo ausſprechen:

Die Summe aus den umgekehrten Werthen der Vereinigungsweiten iſt gleich dem umgekehrten Werthe der Brennweite.

Jetzt können wir die Erſcheinungen näher angeben, welche unter den geſtellten Bedingungen convexe und concave Linſen zeigen, wenn von einem auf der Axe liegenden leuchtenden Punkte Lichtſtrahlen auf eine ſolche fallen.

Wir beginnen mit der Unterſuchung über die Lage des Brennpunktes bei den verſchiedenen Linſen.

Aus (11) erhalten wir für convexe Linſen:

$$f = \frac{Rr}{(n-1)(R+r)}; \quad . \quad . \quad . \quad (15)$$

eben ſo aus (12) für concave Linſen:

$$f = -\frac{Rr}{(n-1)(R+r)}, \quad . \quad . \quad . \quad (16)$$

d. h. die Brennweite iſt gleich dem Producte aus den Halbmeſſern der beiden krummen Flächen der Linſe dividirt durch den um Eins verminderten Brechungsexponenten und durch die Summe der beiden Halbmeſſer. Bei convexen Linſen iſt die Brennweite poſitiv, d. h. es findet eine wirkliche Vereinigung der Lichtſtrahlen hinter der Linſe ſtatt; bei concaven Linſen iſt die Brennweite negativ, d. h. es findet nur eine ſcheinbare Vereinigung der Lichtſtrahlen vor der Linſe ſtatt, oder die

Lichtſtrahlen ſcheinen nach dem Durchgange durch eine concave Linſe von einem vor derſelben liegenden Punkte auszugehen.

Vergleichen wir zwei Linſen in Betreff ihrer Brennweite mit einander, ſo erhalten wir:

$$f : f_1 = \frac{Rr}{R+r} : \frac{R_1 r_1}{R_1 + r_1},$$

d. h. ihre Brennweiten verhalten ſich wie die Quotienten aus der Summe der Halbmeſſer in das Product derſelben.

Wenn ſich die Producte aus den Halbmeſſern, wie die Summen derſelben verhalten, ſo haben die Linſen gleiche Brennweiten; z. B. wenn $R = 8''$, $r = 6''$; $R_1 = 24''$ und $r_1 = 4''$ iſt.

Bei einer biconveren Linſe mit gleichen Halbmeſſern der Krümmung iſt $f = \frac{R}{2(n-1)}$; je größer alſo der Halbmeſſer der Krümmung iſt, deſto größer iſt auch die Brennweite.

Bei einer plan-converen Linſe iſt der eine Halbmeſſer $= \infty$, folglich erhält man aus (11)

$$f = \frac{R}{n-1},$$

mithin iſt bei einer plan-converen Linſe die Brennweite noch einmal ſo groß, als bei einer biconveren, bei welcher beide Krümmungen denſelben Halbmeſſer haben, wie die Krümmung der plan-converen.

Bei einer concav-converen Linſe, bei welcher der Halbmeſſer der concaven Fläche R iſt, ſo daß alſo $R > r$ ſein muß, wird

$$f = \frac{Rr}{(n-1)(R-r)},$$

weil nun R im Vergleich mit einer biconveren Linſe, für welche zunächſt unſere Formel (15) entwickelt wurde, die entgegengeſetzte Lage hat und mithin negativ zu nehmen iſt. Eine concav-convere Linſe hat folglich eine größere Brennweite, als eine biconvere mit denſelben Halbmeſſern der Krümmung.

Bei einer biconcaven Linſe mit gleichem Halbmeſſer der Krümmungen iſt, $f = -\frac{R}{2(n-1)}$; je größer alſo der Halbmeſſer der Krümmung iſt, deſto weiter ſteht der negative Brennpunkt von der Vorderſeite der Linſe ab, deſto weniger divergent treten alſo die Strahlen auf der Hinterſeite aus der Linſe heraus.

Bei einer plan-concaven Linſe iſt wieder der eine Halbmeſſer $= \infty$ zu ſetzen, da eine Ebene als ein Stück der Oberfläche einer Kugel angeſehen werden kann, deren Halbmeſſer unendlich groß iſt. Aus (12) erhalten wir alſo:

$$f = -\frac{R}{n-1},$$

alſo iſt auch hier die negative Brennweite noch einmal ſo groß, als bei einer biconcaven Linſe, bei welcher beide Krümmungen denſelben Halbmeſſer haben, wie die Krümmung der plan-concaven. Die Strahlen treten bei einer ſolchen Linſe alſo weniger divergent heraus, als bei der vorhergehenden.

Bei einer conver-concaven Linſe, bei welcher der Halbmeſſer der converen Fläche R iſt, ſo daß alſo $R < r$ ſein muß, wird

$$f = \frac{Rr}{(n-1)(r-R)},$$

weil nun R im Vergleich mit einer biconcaven Linſe, für welche zunächſt unſere Formel (16) entwickelt wurde, die entgegengeſetzte Lage hat und mithin negativ zu nehmen iſt. Eine conver-concave Linſe hat folglich wieder eine größere negative Brennweite, als eine biconcave mit denſelben Halbmeſſern der Krümmung.

2) Liegt der Licht ausſtrahlende Punkt in endlicher Entfernung von der Linſe auf der Axe und iſt die Lage des Brennpunkts ermittelt, ſo geben uns die Formeln (13) und (14) die Wirkung der Linſen näher an. Wir ſchicken einige allgemeine Beziehungen zwiſchen der Brennweite und den Vereinigungsweiten voraus.

Die Brennweite einer Linſe iſt die mittlere Proportionale zwiſchen den arithmetiſchen Differenzen der Vereinigungsweiten und der Brennweite; es iſt alſo für convere Linſen $(a - f) : f = f : (a_1 - f)$ und für concave Linſen $(a + f) : f = f : (a_1 + f)$.

Es iſt nämlich für convere Linſen aus (13) $a_1 - f = \frac{a_1 f}{a}$ und $a - f = \frac{af}{a_1}$, alſo $(a_1 - f)(a - f) = f^2$; für concave Linſen aus (14) $a_1 + f = -\frac{a_1 f}{a}$ und $a + f = -\frac{af}{a_1}$, alſo: $(a_1 + f)(a + f) = f^2$

Jede Vereinigungsweite iſt gleich der Summe aus der Brennweite und aus dem Producte dieſer und derjenigen Zahl, welche angiebt, der wievielte Theil die zu beſtimmende Vereinigungsweite von der zugehörigen anderen iſt; iſt alſo $a_1 = \frac{M}{m} a$, ſo iſt $a_1 = f + \frac{M}{m} f$ und $a = f + \frac{m}{M} f$ für convere Linſen, während für concave Linſen f negativ zu nehmen iſt.

Iſt eine convere Linſe gegeben und a und f bekannt, ſo iſt (13)

$$\frac{1}{a_1} = \frac{1}{f} - \frac{1}{a}.$$

Liegt der leuchtende Punkt unendlich weit ab, ſo iſt $\frac{1}{a} = 0$, alſo $\frac{1}{a} = \frac{1}{f}$, d. h. $a = f$; es vereinigen ſich mithin, wie wir ſchon wiſſen, die Strahlen nach dem Durchgange durch die Linſe in dem Brennpunkte.

Liegt der leuchtende Punkt außerhalb der Brennweite, ſo iſt $a > f$, alſo $\frac{1}{a} < \frac{1}{f}$, d. h. $\frac{1}{a_1}$ iſt poſitiv und der Vereinigungspunkt liegt hinter der Linſe; es iſt aber auch alsdann $\frac{1}{a_1} < \frac{1}{f}$, folglich iſt $a_1 > f$ und der Vereini-

gungspunkt liegt alſo außerhalb der Brennweite. Je größer a iſt, deſto kleiner wird $\frac{1}{a}$, alſo deſto größer $\frac{1}{f} - \frac{1}{a}$ oder $\frac{1}{a_1}$, d. h. deſto näher liegt der Vereinigungspunkt an dem Brennpunkte. Iſt $a = 2f$, ſo iſt a_1 ebenfalls $= 2f$, beide Vereinigungsweiten ſind alſo dann gleich.

Liegt der leuchtende Punkt in dem Brennpunkte, ſo iſt $a = f$, alſo $\frac{1}{a} = o$, d. h. $a = \infty$; es werden alſo die Strahlen nach dem Durchgange parallel mit der Axe.

Liegt der leuchtende Punkt innerhalb der Brennweite, ſo iſt $a < f$, alſo $\frac{1}{a} > \frac{1}{f}$ d. h. $\frac{1}{a_1}$ iſt negativ und der Vereinigungspunkt liegt vor der Linſe, iſt alſo kein wirklicher, ſondern nur ein ſcheinbarer Vereinigungspunkt, aus welchem die Strahlen divergent auszugehen ſcheinen. Je kleiner a iſt, deſto größer wird der abſolute Werth von $\frac{1}{a_1}$, deſto kleiner muß alſo a_1 ſein, d. h. deſto näher rückt der Vereinigungspunkt an die Linſe, und umgekehrt je näher a am Brennpunkte liegt, deſto weiter rückt der andere Vereinigungspunkt von der Linſe ab, ſelbſt bis in das negativ Unendliche, ſo bald $a = f$ wird. Iſt $a = \frac{1}{2} f$, d. h. liegt der leuchtende Punkt in der Mitte der Brennweite, ſo iſt $a_1 = -f$, d. h. der Vereinigungspunkt liegt in dem vorderen Brennpunkte; rückt der leuchtende Punkt noch näher an die Linſe, ſo müßte alſo der Vereinigungspunkt innerhalb der vorderen Brennweite ſich befinden.

Faſſen wir dieſe Ergebniſſe zuſammen, ſo ergiebt ſich, daß bei unendlicher Entfernung des leuchtenden Punktes die Strahlen ſich im hinteren Brennpunkte vereinigen; rückt der leuchtende Punkt in meßbarer Entfernung heran, ſo rückt der Vereinigungspunkt weiter ab, bis in doppelter Entfernung der Brennweite beide Punkte gleichen Abſtand von der Linſe haben; rückt der leuchtende Punkt noch näher an den Brennpunkt, ſo entfernt ſich der Vereinigungspunkt immer mehr, bis er unendlich weit abſteht, ſobald der leuchtende Punkt im Brennpunkte ſich befindet. In dieſem Falle kann man ſagen, der Vereinigungspunkt der durchgegangenen Strahlen liege ſowohl unendlich weit hinter, als vor der Linſe. Steht der leuchtende Punkt innerhalb der Brennweite, ſo rückt der Vereinigungspunkt, der nun vor der Linſe liegt und nur ein ſcheinbarer iſt, aus unendlicher Entfernung der Linſe immer näher, bis derſelbe bei einem Abſtande des leuchtenden Punktes gleich der halben Brennweite im vorderen Brennpunkte liegt. Wird der Abſtand des leuchtenden Punktes von der Linſe noch geringer, ſo befindet ſich der ſcheinbare Vereinigungspunkt innerhalb der vorderen Brennweite.

Iſt eine concave Linſe gegeben und ſind a und f bekannt, ſo iſt (14)

$$\frac{1}{a_1} = -\frac{1}{f} - \frac{1}{a} = -\left(\frac{1}{f} + \frac{1}{a}\right).$$

Liegt der leuchtende Punkt unendlich weit ab, ſo iſt $\frac{1}{a} = o$, alſo

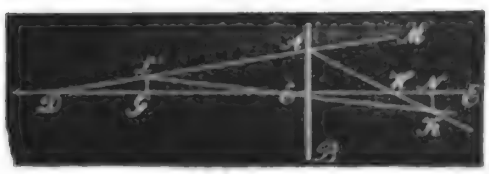
$\frac{1}{a_1} = -\frac{1}{f}$, d. h. $a = -f$, es ſcheinen mithin die durchgegangenen Strahlen aus einem Punkte auszugehen, welcher vor der Linſe liegt.

Liegt der leuchtende Punkt in einer meßbaren Entfernung, ſo bleibt $\frac{1}{a_1}$, alſo auch a_1 immer negativ, d. h. es findet ſtets nur eine ſcheinbare Vereinigung vor der Linſe ſtatt, und die Strahlen treten alſo immer divergirend auf der Hinterſeite aus der Linſe heraus. Je kleiner a wird, d. h. je näher der leuchtende Punkt an die Linſe rückt, deſto größer wird $\frac{1}{f} + \frac{1}{a}$, alſo auch der abſolute Werth von $\frac{1}{a_1}$, d. h. a_1 wird kleiner als f; es rückt alſo der ſcheinbare Vereinigungspunkt der Linſe näher und nie ſteht er weiter ab, als bis zur Brennweite. Befindet ſich der leuchtende Punkt im Brennpunkte, ſo wird $a_1 = {}^1/_2 f$; der ſcheinbare Vereinigungspunkt liegt alſo in der Mitte der Brennweite, und während der leuchtende Punkt aus unendlicher Entfernung ſich bis auf die Entfernung des Brennpunktes dem Glaſe nähert, rückt der ſcheinbare Vereinigungspunkt von dem Brennpunkte nur bis auf den halben Abſtand des Brennpunktes an die Linſe heran.

b) Wirkung der Linſen, wenn das Licht von einem Punkte außerhalb der Axe ausgeht.

Wenn wir zu den oben gemachten Vorausſetzungen noch die hinzufügen, daß der leuchtende Punkt eine ſolche Lage habe, daß der durch die Mitte der Linſe (das ſogenannte optiſche Centrum) gehende Lichtſtrahl mit der Axe nur einen kleinen Winkel bildet, und wir dieſen Strahl, welchen man den Hauptſtrahl nennt, als Axe für alle von dem Punkte auf die Linſe fallenden Strahlen anſehen; ſo gilt in dem vorliegenden Falle daſſelbe Geſetz wie in dem, wo der leuchtende Punkt ſich auf der Axe befand, nämlich $\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a_1}$ für convexe und $-\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a_1}$ für concave Linſen.

Es ſei ACB in beiſtehender Figur eine convexe Linſe, DCE die Axe, L der leuchtende Punkt in einem Abſtande = LG von der Axe und in einer Entfernung = GC von der Linſe. Der Hauptſtrahl LC wird ſo gut als ungebrochen durch die Linſe gehen, da dieſelbe nicht dick ſein kann und die berührenden Ebenen an dem Ein- und Austrittspunkte als parallel angenommen werden können. Ein anderer von L ausgehender Strahl LA ſchneide die Axe irgend wo, z. B. in D; ſo iſt dieſer Punkt D gewiſſermaßen der Ausgangspunkt eines von der Axe kommenden Strahles DA, und der Durchſchnittspunkt des durchgegangenen Strahles mit der Axe in



H iſt, wenn wir die Brennweite des Glaſes = f ſetzen, durch die Gleichung $\frac{1}{f} = \frac{1}{DC} + \frac{1}{CH}$ beſtimmt. Verlängern wir AH bis zu dem Durchſchnitt mit dem Hauptſtrahle LC, ſo erhalten wir den Punkt K, in einem Abſtande = KN von der Axe und in einer Entfernung = CN von der Linſe. Es iſt nun für die Lage des Punktes K die Bedingungsgleichung zu ſuchen.

Verlängern wir LA über A nach M hin, ſo iſt

$$< MAK = < ALK + < AKL = < ADC + < AHC.$$

Es iſt aber $tgs < ALK = \frac{AC}{LC}$; $tgs < AKL = \frac{AC}{CK}$; $tgs < ADC = \frac{AC}{DC}$;

$$tgs < AHC = \frac{AC}{CH},$$

da man auch AC auf LCK als ſenkrecht ſtehend annehmen kann. Wegen der Kleinheit der Winkel wird man für die Tangenten die Winkel ſelbſt nehmen können, folglich erhalten wir:

$$\frac{AC}{LC} + \frac{AC}{CK} = \frac{AC}{DC} + \frac{AC}{CH} \text{ oder } \frac{1}{LC} + \frac{1}{CK} = \frac{1}{DC} + \frac{1}{CH}.$$

Nun iſt für einen leuchtenden Punkt auf der Axe in D bereits bewieſen, daß $\frac{1}{DC} + \frac{1}{CH} = \frac{1}{f}$ iſt; folglich erhalten wir auch im vorliegenden Falle:

$$\frac{1}{LC} + \frac{1}{CK} = \frac{1}{f},$$

und ſomit gilt für einen außerhalb der Axe liegenden Punkt auf den Hauptſtrahl bezogen dieſelbe Bedingungsgleichung wie für einen auf der Axe liegenden Punkt, und folglich gelten hier auch alle die näheren Beſtimmungen, welche ſich dort in den einzelnen Fällen ergaben.

Wollen wir noch den Abſtand des Punktes K von der Axe und von der Linſe beſtimmen, ſo ergiebt ſich ſofort, da $\triangle LCG \sim \triangle NCK$ iſt, daß GC : CN = GL : KN ſein muß, alſo:

$$NK = \frac{CN}{GC} \cdot GL;$$

da aber auch LC : CK = GC : CN iſt, und CK durch LC und f mit Hülfe der Gleichung $\frac{1}{LC} + \frac{1}{CK} = \frac{1}{f}$ beſtimmt wird, ſo iſt CN und mithin auch NK durch GC, GL und f beſtimmt.

Setzen wir $LC = \alpha$, $CK = \alpha_1$, ſo iſt die Bedingungsgleichung

für convexe Linſen $\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\alpha_1} = \frac{1}{f}$ . . . (17)

und für concave Linſen $\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\alpha_1} = -\frac{1}{f}$ . . . (18).

Setzen wir $GC = b$, $CN = b_1$; $GL = \beta$ und $NK = \beta_1$; ſo iſt

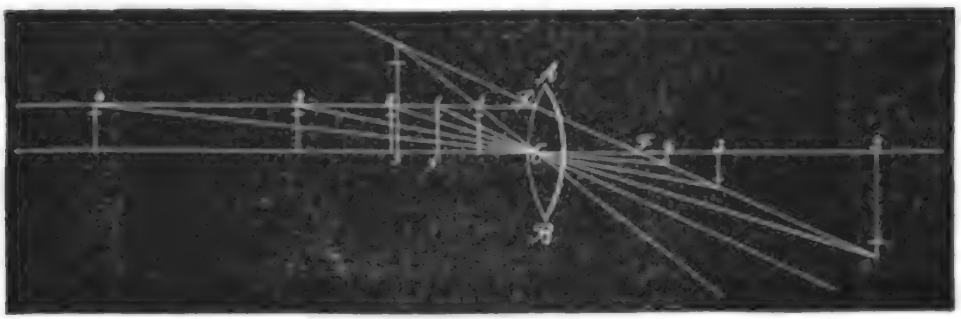
$$b_1 = \frac{\alpha_1}{\alpha} \cdot b \text{ und } \beta_1 = \frac{\alpha_1}{\alpha} \cdot \beta \text{ . . . (19).}$$

Da auch hier in den Bedingungsgleichungen (17) und (18) AC nicht vorkommt, ſo folgt daraus, daß unter den gemachten Vorausſetzungen alle von dem Punkte ausgehenden und die Linſe treffenden Strahlen in einem Punkte ſich vereinigen, daß alſo das durchgegangene Licht eben ſo wie das auffallende einen Kegel bildet. Da ferner in den Gleichungen (19) b und β_1 ſich von einander unabhängig erweiſen, ſo folgt daraus, daß jeder in der Linie LG gelegene leuchtende Punkt ſeinen Vereinigungspunkt auf KN hat, nämlich da, wo der von dem leuchtenden Punkte gezogene Hauptſtrahl KN ſchneidet.

c) Wirkung der Linſen, wenn das Licht von einem Gegenſtande ausgeht.

Aus den zuletzt gefundenen Gleichungen (19) folgt, daß, wenn mehrere leuchtende Punkte in einer auf der Axe ſenkrechten Linie über einander liegen, die Vereinigungspunkte der durchgegangenen Strahlen ebenfalls und zwar in derſelben Ordnung in einer ſolchen Linie liegen, d. h. die durchgegangenen Strahlen geben ein Bild des Gegenſtandes. Es kommt nun hierbei namentlich darauf an, die Lage und die Größe des Bildes zu beſtimmen. Erſteres geſchieht mit Hülfe der Gleichungen (17) und (18), letzteres mit denen unter (19), und da (17) und (18) für den Fall, daß der leuchtende Punkt auf der Axe liegt, bereits discutirt ſind, ſo bedarf es hier in Betreff der Lage des Bildes, in ſofern wir darunter nur die Entfernung von der Linſe verſtehen, weiter keiner Erläuterung. Es kommt jedoch noch in Betracht, ob das Bild zu dem Gegenſtande in derſelben oder in der umgekehrten Lage (oder beſſer Stellung) ſich befindet, und deshalb müſſen wir hier noch näher auf dieſe Erſcheinungen eingehen. Wir verfahren hierbei am zweckmäßigſten conſtructiv, da wir dann am ſchnellſten alle möglichen Fälle überſehen können.

1) Es ſei in beiſtehender Figur ABC eine convere Linſe, deren Axe in fCF liegt; f ſei der vordere, F der hintere Brennpunkt, alſo $Cf = CF$, wenn C der optiſche Mittelpunkt iſt; auf der vorderen Seite ſtehe ein Object, z. B. ein



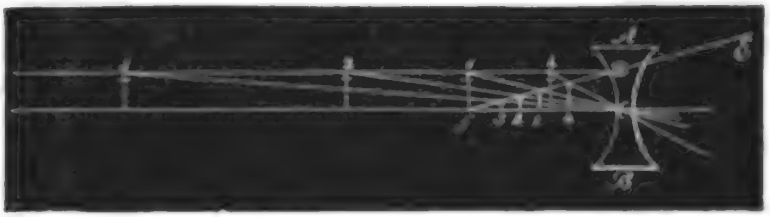
Kreuz, in verſchiedenen Entfernungen, als im Brennpunkte f, in größerer Entfernung und in kleinerer Entfernung. Die von dem Fußpunkte des Kreuzes ausgehenden Strahlen vereinigen ſich in der Axe, alſo auf CF; die von der Spitze des Kreuzes ausgehenden Strahlen vereinigen ſich auf dem Hauptſtrahle, C_1, C_2, C_3 .... Da nun ein parallel mit der Axe auffallender Strahl, wie wir bereits oben geſehen haben, durch den Brennpunkt geht, ſo erhalten wir ſehr leicht für

einen zweiten von der Spitze des Kreuzes ausgegangenen Lichtſtrahl die Richtung nach dem Durchgange, wenn wir nämlich den parallel mit der Axe gerichteten Strahl verfolgen. Nach dem Durchgange geht dieſer durch den Brennpunkt, und wo dieſer Strahl den Hauptſtrahl trifft, da muß der Vereinigungspunkt aller von der Spitze ausgehenden Strahlen liegen. Iſt F der Brennpunkt, ſo geht D_1, D_2, D_3 ... nach dem Durchgange fort in der Richtung DF. Da Cf = CF iſt, ſo muß der Hauptſtrahl C_1 parallel mit DF werden, d. h. das Bild von einem im Brennpunkte einer converen Linſe befindlichen Objecte liegt in unendlicher Entfernung, und zwar kann man eben ſo gut ſagen hinter als vor der Linſe. Der Hauptſtrahl C_2 ſchneidet DF ſo, daß, wenn wir von dem Durchſchnittspunkte eine ſenkrechte Linie auf die Axe fällen, wir das Bild 2 bekommen; eben ſo iſt es mit den Kreuzen 3 und 4, welche die Bilder 3 und 4 geben. Zum Unterſchiede ſind die Objecte an der Spitze mit Zahlen bezeichnet, die Bilder aber an dem Fußende. Hierbei ſehen wir ſofort, daß je weiter das Object außerhalb der Brennweite liegt, das Bild dem Brennpunkte immer näher rückt und eine umgekehrte Lage hat, aber immer außerhalb der hinteren Brennweite ſich befindet. Würde das Object in unendliche Entfernung treten, ſo würde der Durchſchnittspunkt des Hauptſtrahles mit DF in den Brennpunkt ſelbſt fallen, und dort alſo ein kleines Bild des Objectes entſtehen. — Steht das Object in der Stellung 5 innerhalb der Brennweite, ſo liegt der Durchſchnittspunkt des Hauptſtrahles mit DF vor der Linſe, und wir erhalten in 5 ein Bild, welches mit dem Objecte dieſelbe Stellung hat. Aus der Zeichnung iſt klar, daß je näher das Object dem Brennpunkte ſteht, der Durchſchnittspunkt des Hauptſtrahles mit DF in immer größerer Entfernung vor der Linſe ſich findet, daß alſo das Bild auch immer weiter ſich entfernt. Stände das Object dem Brennpunkte innerhalb der Brennweite unendlich nahe, ſo würde das Bild unendlich weit vor der Linſe ſich befinden, ſo daß ſich alſo auch hier herausſtellt, wie ſchon vorher bemerkt wurde, daß das Bild eines im Brennpunkte ſtehenden Objectes eben ſo wohl vor als hinter der Linſe in unendlicher Entfernung ſtehe.

Die Stelle, an welcher ſich das Bild befindet, iſt genau dieſelbe, welche wir im Abſchnitte B. a, 1 für einen auf der Axe befindlichen Punkt gefunden haben. Die Stellung des Bildes iſt die umgekehrte des Objectes, ſobald dies außerhalb der Brennweite ſich befindet, aber dieſelbe wie die des Objects, ſobald das Object innerhalb der Brennweite ſteht. Die Bilder für Objecte, welche außerhalb der Brennweite ſtehen, ſind phyſiſche, d. h. durch wirkliche Vereinigung von Lichtſtrahlen gebildete und können deshalb auf Flächen aufgefangen werden; die Bilder für Objecte, welche innerhalb der Brennweite ſich befinden, ſind mathematiſche, d. h. nur durch ſcheinbare Vereinigung der Lichtſtrahlen zu Stande gekommen, eben ſo wie die Bilder in ebenen Spiegeln. Die Größe des Bildes iſt um ſo bedeutender, je näher das Object am Brennpunkte ſteht, ſei es innerhalb oder außerhalb der Brennweite.

Die Größe des Bildes läßt ſich berechnen nach der Gleichung (19) für $\beta_1 = \frac{a_1}{a}\beta$; nur iſt dabei zu merken, daß, ſobald der Gegenſtand in einer unbeſtimmbaren Entfernung ſich befindet, während ſeine Größe unter einem meßbaren Winkel x erſcheint, dieſe Formel unbrauchbar wird. Es iſt dann $a = \infty$, alſo $a_1 = f$ und wir erhalten dann die Größe des Bildes $= f \cdot \operatorname{tgs} x$.

2) Es ſei A C B in beiſtehender Figur eine concave Linſe, deren Axe in f C liegt; f ſei der auf der vorderen Seite liegende, alſo negative Brennpunkt; C der optiſche Mittelpunkt, und auf der vorderen Seite ſtehe ein Object, z. B.



wieder ein Kreuz in verſchiedenen Entfernungen von der Linſe, als in dem Brennpunkte f, innerhalb und außerhalb der Brennweite. Der Vereinigungspunkt für Lichtſtrahlen, welche von der Axe ausgehen, liegt bei einer concaven Linſe, wie wir vorher geſehen haben, wieder auf der Axe und zwar innerhalb der Brennweite. Hieraus ſehen wir ſchon, daß eine concave Linſe auch nur Bilder geben wird, welche mathematiſche ſind und nicht weiter abſtehen, als der negative Brennpunkt. Der von der Spitze des Kreuzes ausgehende Hauptſtrahl geht ungebrochen durch den optiſchen Mittelpunkt; der parallel mit der Axe gehende Strahl: D_1, D_2, D_3 . . ., ſcheint nach dem Durchgange aus f zu kommen, alſo liegt der Vereinigungspunkt der von der Spitze ausgehenden Strahlen in dem Durchſchnittspunkte von D f mit C_1, C_2, C_3. . . . Wir erhalten alſo für die Objecte in 1, 2, 3 . . . die Bilder 1, 2, 3 . . ., wo die Objecte an der Spitze, die Bilder an dem Fußende mit Zahlen bezeichnet ſind. Da der Durchſchnittspunkt des Hauptſtrahles mit D f dem Punkte D immer näher kommt, je näher das Object der Linſe rückt, ſo ſteht auch das Bild immer näher an der Linſe und wird zugleich immer größer. Die Stelle des Bildes iſt ſtets innerhalb der Brennweite; die Stellung ſtets der des Objectes gleich; die Bilder ſind ſtets mathematiſche; die Größe des Bildes wächſt mit der Annäherung des Objectes an die Linſe, bleibt aber ſtets kleiner als das Object.

Wegen der Berechnung der Größe des Bildes gilt hier daſſelbe, wie bei converen Linſen; während dort aber $\frac{\alpha_1}{\alpha}$ ſehr verſchiedene Werthe haben kann, da $\alpha_1 \gtreqless \alpha$ werden kann, iſt hier ſtets $\alpha_1 < \alpha$, alſo $\beta_1 < \beta$. Für $\alpha = \infty$ wird, wenn das Object unter einem meßbaren Winkel x erſcheint, $\beta_1 = -\mathrm{f} \cdot \mathrm{tgs}\, x$.

d) Wirkung der Linſen, wenn das von einem Gegenſtande ausgegangene Licht bereits eine Linſe durchdrungen hat und dann abermals auf eine Linſe trifft.

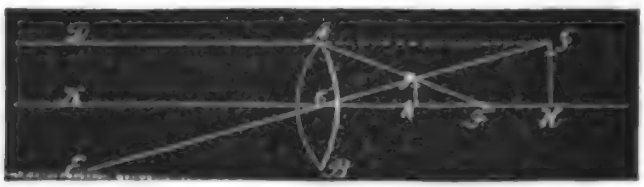
Es iſt hier zu unterſcheiden, ob das durch die erſte Linſe entſtandene Bild ein phyſiſches oder mathematiſches iſt. Da das letztere vor der Linſe liegt und die Lichtſtrahlen aus derſelben ſo austreten, als ob ſie von dem mathematiſchen Bilde herkämen wie von einem Objecte, ſo kann man ein ſolches Bild inſofern auch wie ein Object betrachten, welches ſeine Lichtſtrahlen auf eine zweite Linſe fallen läßt. Es bietet alſo dieſer Fall nichts Beſonderes dar und alle die Erſchei-

nungen treten nun bei der zweiten Linſe auf, die nach dem Vorhergehenden eintreten, wenn von einem Gegenſtande Licht auf eine Linſe fällt.

Eben ſo iſt es, wenn das durch die erſte Linſe erzeugte phyſiſche Bild durch eine Linſe betrachtet wird, welche von der erſten Linſe weiter abſteht, als dies Bild, da man daſſelbe in Beziehung zu der zweiten Linſe wiederum als Object anſehen kann. Iſt aber das durch die erſte Linſe erzeugte Bild ein phyſiſches und ſteht die zweite Linſe näher an der erſten, als das Bild, ſo werden offenbar die Strahlen, ehe ſie das Bild erzeugen, unterbrochen, und es fragt ſich nun, welchen Erfolg dieſes Zwiſchentreten der zweiten Linſe hat. Hierbei macht es einen Unterſchied, je nachdem die eingeſchobene Linſe conver oder concav iſt.

1) Wird das Zuſtandekommen eines phyſiſchen Bildes, welches eine Linſe erzeugen würde — und nach dem Vorhergehenden kann dies nur durch convexe Linſen geſchehen, — durch eine eingeſchobene convexe Linſe verhindert, ſo entſteht ſtatt des Bildes hinter der eingeſchobenen Linſe ein kleineres phyſiſches Bild in derſelben Stellung, welche das geſtörte Bild haben müßte, und zwar iſt es um ſo kleiner, je weiter die eingeſchobene Linſe von dem Orte, welchen das geſtörte Bild einnehmen würde, entfernt iſt.

Es ſei ACB in beiſtehender Figur die convexe Linſe mit ihrer Axe KCF, welche das Zuſtandekommen des Bildes GH verhindert. Da dies Bild dadurch entſteht, daß ſich die von einem Punkte des Objectes ausgehenden Strahlen in dem Bilde



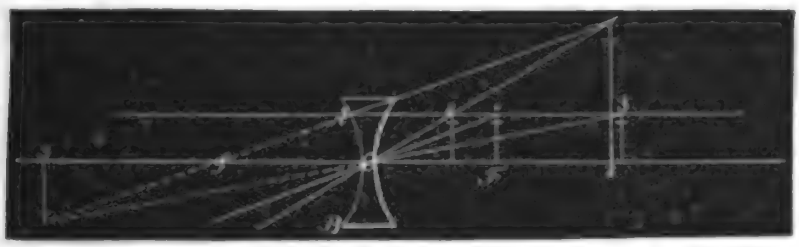
wieder in einem Punkte vereinigen, ſo kann unter dieſen Strahlen einer ECG ſein, welcher in der Richtung durch den optiſchen Mittelpunkt der eingeſchobenen Linſe hindurch nach dem Punkte G gegangen wäre. Dieſer würde ungebrochen durch die eingeſchobene Linſe gehen. Ein zweiter Strahl, der zu dem Punkte G gehörte, kann parallel mit der Axe gegangen ſein, alſo in der Richtung DAG. Dieſer Strahl würde durch die eingeſchobene Linſe ſo gebrochen werden, daß er durch den auf der hinteren Seite derſelben liegenden Brennpunkt F gehen müßte, alſo in der Richtung AF. Da ſich nun alle von einem Punkte ausgehenden Strahlen nach dem Durchgange durch eine Linſe — wenn nur die bei unſerer Unterſuchung überhaupt aufgeſtellten Vorausſetzungen erfüllt ſind — wieder in einem Punkte vereinigen, ſo liegt der Vereinigungspunkt der Strahlen, welche in G zuſammentreffen würden, da wo ſich AF und CG ſchneiden, alſo in G, und da daſſelbe von allen Punkten des Bildes GH in gleicher Weiſe durchgeführt werden kann, ſo entſteht nun das Bild gh ſtatt des Bildes GH. Daß die Strahlen DA und EC in der That vorhanden ſeien, iſt gar nicht nöthig; mit ihrer Hülfe kann man nur den Vereinigungspunkt aller Strahlen, die nach G gehen würden, am einfachſten finden.

Die Verhältniſſe zwiſchen gh und GH ſind ganz dieſelben, wie ſie in der Abtheilung B. c, 2 für eine concave Linſe gefunden ſind, wenn durch eine ſolche ein Object betrachtet wird, weshalb wir uns hier darauf berufen.

2) Wird das Zuſtandekommen eines phyſiſchen Bildes, welches eine Linſe erzeugen würde, durch eine eingeſchobene concave Linſe verhindert, ſo iſt der Erfolg verſchieden. Steht die Linſe ſo, daß die Stelle, welche das Bild eigentlich einnehmen würde, mit dem hinteren Brennpunkte zuſammentrifft, ſo entſteht gar kein neues Bild. Steht die Linſe näher an der Stelle des Bildes, alſo dieſes innerhalb der hinteren Brennweite der eingeſchobenen Linſe, ſo entſteht hinter dieſer Linſe ein größeres phyſiſches Bild in derſelben Stellung, welche das Bild haben würde. Steht die Linſe weiter ab von der Stelle des Bildes, als ſeine Brennweite beträgt, ſo erhält man ein mathematiſches Bild vor der eingeſchobenen Linſe in einer umgekehrten Stellung von der, welche das Bild haben würde, und zwar um ſo größer, je weniger das Bild außerhalb der Brennweite ſtehen würde, ſo daß bei einer Entfernung gleich der doppelten Brennweite beide Bilder gleich groß ſein müßten.

Auch dieſe Erſcheinungen laſſen ſich durch eine Zeichnung leicht anſchaulich machen.

Es ſei A C B in beiſtehender Figur die concave Linſe mit der Axe f C F; F und f ſeien die Brennpunkte, alſo C F = C f. Stände das Bild 1 in F, ſo würden der Hauptſtrahl C_1 und der mit der Axe parallele Strahl A_1, da dieſer



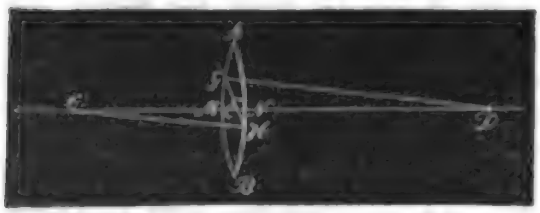
nach dem Durchgange aus f zu kommen ſcheint, parallel laufen, alſo würde gar kein Bild ſtatt des Bildes 1 entſtehen. Stände das Bild zwiſchen C und F, z. B. in 2, ſo würde der Hauptſtrahl C_2 den parallel mit der Axe gehenden Strahl A_2 in der Richtung von f nach A hin ſchneiden und das phyſiſche Bild 2 entſtehen, um ſo größer, je näher das geſtörte Bild an F liegen würde. Stände das Bild außerhalb C F, z. B. in 3, ſo würden ſich C_3 und A f in der Richtung nach f hin ſchneiden und ein umgekehrtes mathematiſches Bild entſtehen, um ſo größer, je näher das geſtörte Bild ſeine Stelle an F gehabt hätte.

Die Verhältniſſe zwiſchen dem geſtörten und dem neu entſtandenen Bilde ſind ganz übereinſtimmend mit den im Abſchnitte B. c. 1 für eine convexe Linſe gefundenen, wenn durch eine ſolche ein Object betrachtet wird, und deshalb berufen wir uns hier ebenfalls darauf.

Die Ableitung der Erſcheinungen, welche Linſen hervorbringen, iſt im Vorhergehenden unter gewiſſen Einſchränkungen geſchehen, die nur annähernd erfüllt werden können; es iſt daher nöthig noch näher darauf einzugehen, wie man dieſe Annäherung möglichſt vollkommen erreicht. Vorher jedoch wollen wir noch einen Punkt erledigen, der einer Rechtfertigung bedarf, nämlich weshalb wir annehmen konnten, daß der durch die Mitte des Glaſes, oder genauer durch den optiſchen

Mittelpunkt gehende Strahl, ſo gut wie ungebrochen durch die Linſe hindurch gehe. Es betrifft dies alſo eigentlich die Feſtſtellung des Begriffes des optiſchen Mittelpunktes, d. h. wir haben nachzuweiſen, daß es wirklich einen Punkt in der Linſe giebt, durch welchen die Strahlen ſo gut wie ungebrochen gehen.

Die Linſe ſei in beiſtehender Figur AB, der Mittelpunkt der vorderen Fläche D, der hinteren Fläche C. Für einen in G einfallenden Strahl iſt dann das Einfallsloth DG. Ziehen wir nun CH parallel DG, ſo läßt ſich leicht zeigen, daß ein in G einfallender Strahl, wenn er nach der Brechung im Glaſe die Richtung GH erhält, auf der Rückſeite in paralleler Richtung mit dem einfallenden Strahle wieder austreten müſſe, d. h. der Punkt E, in welchem GH die Axe CD ſchneidet, iſt der optiſche Mittelpunkt.



Weil CH und DG parallel laufen, ſo iſt $< DGH = < CHG$; der Strahl GH macht alſo in der Linſe mit den Einfallslothen gleiche Winkel und muß mithin eben ſo weit beim Austritte aus der Linſe bei H von dem Einfallslothe abgebrochen werden, als er beim Eintritte bei G demſelben zugebrochen wurde, d. h. der bei H austretende Strahl iſt dem bei G einfallenden parallel. Ein durch E gehender Strahl geht alſo bei der geringen Dicke der Linſe ſo gut wie ungebrochen hindurch, da er nur um ein Weniges nach der Seite verſchoben, aber in ſeiner Richtung nicht geändert wird.

Wollen wir den Punkt E mathematiſch beſtimmen, ſo möge ſein Abſtand von der Vorderfläche der Linſe $ME = x$ ſein, die Dicke des Glaſes $MN = d$, ſo iſt

$$GD : CH = ED : CE, \text{ d. h.}$$
$$GD : CH = GD - x : CH - (d - x)$$

oder, wenn $GD = R$ und $CH = r$ geſetzt wird,

$$R : r = R - x : r - d + x,$$

folglich iſt $R(r - d + x) = r(R - x)$, woraus man erhält

$$x = \frac{dR}{R + r} \text{ und } d - x = \frac{dr}{R + r}.$$

Da ſich hier für die Lage des Punktes E nur eine Abhängigkeit herausſtellt von der Dicke des Glaſes und den Halbmeſſern der beiden krummen Flächen, ſo iſt die Entfernung des Punktes G von der Axe gleichgültig, d. h. jeder durch E, alſo durch den optiſchen Mittelpunkt, gehende Strahl geht ſo gut wie ungebrochen hindurch.

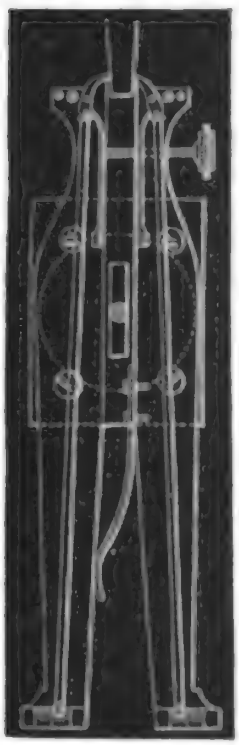
Derſelbe Werth für x und $d - x$ ergiebt ſich für concave Gläſer, da R und r alsdann nur negativ zu ſetzen ſind.

Um die Lage dieſes Punktes übrigens noch deutlicher zu überſchauen, wollen wir die verſchiedenen Linſenformen noch näher betrachten. Iſt die Linſe biconver oder biconcav und $R = r$, ſo iſt $x = d - x = \frac{1}{2} d$, d. h. der optiſche Mittelpunkt liegt in der Mitte der Linſe. Iſt $R > r$, ſo iſt $x > d - x$, d. h. die Stelle liegt der gekrümmten Fläche näher. Iſt $R = \infty$, alſo die vordere Fläche eben, ſo iſt $d - x = 0$, alſo $x = d$; iſt $r = \infty$, alſo die hintere Fläche eben, ſo iſt $x = 0$; folglich liegt beide Mal der Punkt da, wo die Axe die krumme Fläche

Digitized by Google

ſchneidet. Iſt die Linſe concav-conver oder conver-concav, ſo iſt im erſten Falle der Halbmeſſer der concaven, im zweiten der Halbmeſſer der converen Fläche negativ zu ſetzen; nehmen wir an, daß dies der Halbmeſſer r ſei, ſo wird $x = \frac{d\,R}{R - r}$, alſo iſt $x > d$ und der optiſche Mittelpunkt liegt mithin außerhalb der Linſe. Da nun r in beiden Fällen größer als R ſein muß, ſo iſt x negativ, und im erſten Falle liegt mithin der Punkt vor der converen, im anderen vor der concaven Fläche.

Um die oben geſtellten Bedingungen, namentlich das Einfallen der Strahlen nahe an der Axe, möglichſt zu erreichen, pflegt man bei Anwendung von Linſen zur Herſtellung optiſcher Inſtrumente die Ränder der Linſe und einen Theil ihrer Oberfläche mit einem undurchſichtigen kreisförmigen Rande zu bedecken, den man eine Blendung oder (griech.) ein Diaphragma nennt. Die innere, um den Mittelpunkt befindliche, Fläche der Linſe heißt dann die Oeffnung oder (lat.) Apertur des Glaſes. Hierbei zeigt ſich aber wieder ein Uebelſtand, nämlich daß, je kleiner die Apertur iſt, zwar die Strahlen der Axe um ſo näher einfallen, alſo eine um ſo vollſtändigere Vereinigung in einem Punkte erzielt wird, daß dann aber auch von dem Gegenſtande um ſo weniger Licht auf die Linſe fällt und alſo eine Lichtſchwächung herbeigeführt wird. Das Eine beeinträchtigt das Andere, und deshalb ſind beſtimmte Verhältniſſe nöthig, damit nicht das Eine zu ſehr auf Koſten des Anderen überwiege *).



Eine fernere Bedingung war, daß eine Linſe ihren optiſchen Mittelpunkt in ihrer Axe hat, d. h. daß ſie richtig centrirt iſt. Convexe Linſen, die am Rande ganz ausgeſchliffen ſind, müſſen demnach bei vollkommener Rundung einen gleich ſcharfen Rand haben, oder wenn die Schärfen weggenommen ſind, allenthalben gleich dick erſcheinen. Daſſelbe muß auch an Hohllinſen eintreten, wenn ſie centrirt ſein ſollen. Demnach wird von einer gut centrirten Linſe gefordert, daß ſie in jedem Kreiſe, deſſen Mittelpunkt in die Axe fällt, durchaus gleich dick ſei, und die Unterſuchung dieſer Dicke wird das beſte Mittel, die Centrirung zu prüfen, abgeben. Sie muß aber mit einem ungemein empfindlichen Werkzeuge, nämlich mit dem ſogenannten doppelten Fühlhebel vorgenommen werden, wenn ſie zu einem genauen Reſultate führen ſoll. Dieſes auch zu anderen Zwecken höchſt brauchbare Inſtrument beſteht aus zwei neben einander befindlichen ungleicharmigen zweiarmigen Hebeln, wie ſie nebenſtehende Figur darſtellt, die gleichſam eine Zange bilden. Zwiſchen die kürzeren Schenkel, welche die Backen der Zange vorſtellen, kommt die Linſe, während die längeren über einer Scale ſich befinden. Iſt die Linſe in eine Drehbank ſo

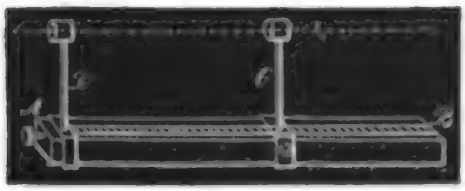
*) Vergl. Art. Fernrohr. Bd. III. S. 100.

eingeſpannt, daß ihre Axe in die Drehungsaxe der Spindel fällt, und wird ſie um dieſe Axe langſam gedreht, ſo zeigt die Bewegung der längeren Hebelarme die geringſte Ungleichheit der Linſe an. Bei einer centrirten Linſe bleiben dieſe vollkommen ruhig. — Eine ſo eingeſpannte Linſe kann man noch auf eine andere Weiſe unterſuchen. Stellt man nämlich in einiger Entfernung von ihr eine brennende Kerze auf und läßt dann die Linſe umlaufen, ſo darf man nur die an beiden Glasflächen reflectirten Bilder der Flamme genau beobachten, um ſich vom Zuſtande der Centrirung der Linſe zu überzeugen. Sind dieſe Bilder beim Rotiren der Linſe vollkommen ruhig, ſo iſt die Linſe gut centrirt, iſt dieſes aber nur mit einem der Fall, während das andere ſich bewegt, ſo iſt die Fläche, zu welcher das bewegte Bild gehört, ſchlecht centrirt. Sollten ſich gar beide Bilder bewegen, ſo hat die Linſe überhaupt nicht die gehörige Lage an der Docke der Drehbank. — Man kann noch auf eine andere Weiſe durch die Lage der reflectirten Bilder die Centrirung einer Linſe prüfen. Man ſtelle ſie gegen einen weit entfernten leuchtenden Gegenſtand ſo, daß die an beiden Flächen durch Reflexion entſtandenen Bilder entweder ſich decken, falls ſie gleich groß ſind, oder wenn dieſes nicht der Fall iſt, ſo daß das kleinere mitten in das größere fällt, und merke den Mittelpunkt des kleineren Bildes, den man, wenn dieſes überhaupt ſehr klein iſt, wie es ſtets ſein ſoll, leicht treffen wird, mit einem Tupf an. Hierauf kehrt man die Linſe um und nimmt dieſelbe Operation wieder vor, wodurch man einen zweiten Punkt bekommt, und jeder dieſer zwei Punkte muß der Mittelpunkt des entſprechenden kreisförmigen Umfanges der Linſe ſein, wenn ſie centrirt iſt. — Das ganze Geſchäft der Prüfung der Centrirung ſetzt freilich voraus, daß die krummen Flächen der Linſen Kugelflächen ſeien, welches wohl bei kleinen Linſen meiſtens der Fall iſt, bei großen aber, wo auch die richtige Centrirung am ſchwerſten zu erreichen iſt, giebt es oft bedeutende Abweichungen von der Kugelgeſtalt. Dieſe kommen häufig vom unzweckmäßigen Verfahren beim Poliren her, wohl auch von einem unbedachtſamen Einſpannen der Glasmaſſe beim Schleifen. Meiſtens kittet man dieſe Maſſe an eine Handhabe, falls man ſie aus freier Hand ſchleift, oder an den Radius der Schleifmaſchine an. So wie man ſie dabei feſt an den warmen Kitt andrückt, geräth ſie in eine unnatürliche Spannung, die beim Erkalten noch größer wird, und wenn ſie nun auch vollkommen kugelförmig geſchliffen wird, ſo verliert ſie doch dieſe Form augenblicklich, ſobald man ſie vom Kitt losmacht, weil da die Glastheile wieder ihre natürliche Lage gegen einander annehmen. Eine andere Quelle, aus welcher eine Abweichung von der Kugelgeſtalt fließt, iſt die Erwärmung an der im Schleifen begriffenen Glasfläche. Fraunhofer, der allen Schwierigkeiten auf das Beſte zu begegnen wußte, ſorgte daher ſtets dafür, daß die Glasmaſſe, welche vor dem Schleifen nur eine Glasſcheibe, wie ſie beim ſogenannten Senken entſtanden war, vorſtellte, nur mit ihrem eigenen Gewichte den weichen Kitt drückte und beim Schleifen ein beſtändiger Durchzug der Luft zwiſchen der Linſe und dem Radius der Maſchine ſtattfinden konnte. Deshalb wurde eine Glasſcheibe mit mehreren im Kreiſe herum befindlichen Kitttropfen verſehen, die zu ſchleifende Glasmaſſe darauf gelegt und beide zuſammen an einen Ort gebracht, wo der Kitt ſich erweichen und hierauf wieder feſt werden mußte, ohne ſo zuſammen zu ſinken, daß ſich beide Gläſer berühren können. Nach dieſem wird erſt das Glas, welches als Baſis diente, an den Radius der Maſchine befeſtigt und zum Schleifen geſchritten.

Es führt uns dieſe Unterſuchung der richtigen Conſtruction der Linſen auf die Anfertigung dieſer wichtigen Körper überhaupt, und deshalb wollen wir an dieſer Stelle gleich einige Bemerkungen einſchalten über die Wahl des zu Linſen zu verwendenden Glaſes. Eine brauchbare Linſe ſoll aus vollkommen durchſichtigem, von Streifen, Wellen und Bläschen möglichſt freiem, allenthalben gleich dichtem Glaſe beſtehen. Bläschen, die ſich etwa in einer Linſe befinden, ſchaden zwar der Deutlichkeit der Bilder, welche ſie liefert, nicht viel, vermindern aber die Lichtſtärke, wenn ſie zahlreich und groß ſind. Merklich große Linſen ſind ſelten ganz blaſenfrei. Anders verhält es ſich mit den Wellen; ſo nennt man nämlich jene meiſt krummen, verwaſchenen Strichen ähnlichen Züge in einer Glasmaſſe, die denjenigen ſehr ſtark gleichen, welche man im Waſſer bemerkt, wenn man Weingeiſt hineingießt. Sie entſtehen aus einer Bewegung der ungleich erwärmten und wahrſcheinlich auch ungleichförmig gemengten flüſſigen Glasmaſſe, welche beim Abkühlen noch die kenntlichen Spuren ihrer Ungleichförmigkeit beibehält. Die Wellen ſind der Deutlichkeit der Bilder ſehr nachtheilig und es iſt eine Linſe ſtets verwerflich, die beſonders um die Are herum ſolche Wellen enthält. Sie ſind bei Flintglaslinſen häufiger als bei denen aus Crownglas, jedoch bei letzteren leider auch viel öfter vorhanden als man gewöhnlich glaubt. Man erkennt ſie oft ſehr ſchwer und nur bei vieler Uebung mit bewaffnetem Auge, nur wo ſie häufig und groß ſind, kann man ſie bei einer oberflächlichen Betrachtung wahrnehmen. Nicht alle ſchaden gleich ſtark. Die langen ſtreifenartigen Wellen ſind viel ſchädlicher als die, welche von Bläschen ausgehen. — Das beſte Mittel, eine Linſe auf Wellen zu unterſuchen, iſt, ſie ſo gegen eine Kerzenflamme zu halten, daß das Bild ſich über die ganze Glasfläche erſtreckt und ſie ſehr ſtark beleuchtet. Nicht ſelten gehen die Wellen von kleinen länglichen Bläschen aus, an denen die Welle gleichſam eine ſchweifartige Verlängerung bildet. Darum muß man bei Prüfung einer Linſe in dieſer Beziehung die Umgebung ſolcher Bläschen beſonders ſorgfältig ins Auge faſſen. — Linſen beſtehen oft aus Glas, das ſchnell abgekühlt iſt, und ſind darum ungleich dicht. Man erkennt dieſes am beſten, wenn man ſie in polariſirtes Licht ſtellt. Gleichförmig dichtes Glas zeigt da keine Spur einer Färbung, während bei einer geringen Ungleichheit der Dichte eine ſolche ſtets bemerkbar wird, beſonders wenn man die Linſe bei verſchiedenen Stellungen gegen die Polariſationsebene betrachtet. Manchmal bewirkt eine ungleiche Spannung in der Faſſung oder ein zu ſtarkes oder ungleiches Anziehen der Schrauben eine Compreſſion des Glaſes, wodurch es fähig wird, im polariſirten Lichte ſich als ungleich dicht darzuſtellen. Doch kehrt die natürliche Dichte meiſt wieder zurück, wenn man die Schrauben etwas lüftet. Achromatiſche Doppellinſen ſind dieſem Fehler gar oft unterworfen, wenn ſie aus den Händen von Optikern kommen, welche die beiden Beſtandlinſen ſich unmittelbar berühren laſſen, und ſie überdies feſtſchrauben.

Da wir in unſerer Formel $\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f}$ die Brennweite als bekannt vorausgeſetzt haben, dieſe aber, wie ſich aus den Formeln $\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right)$ und $\frac{1}{f} = -(n-1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right)$ ergiebt, von dem Brechungsexponenten abhängig iſt, ſo fragt es ſich, wie man bei einer gegebenen Linſe dieſen ermitteln

kann. Es bieten hierzu die eben angeführten Formeln ſelbſt ein Mittel dar. Es ergiebt ſich nämlich aus der erſten für convexe Linſen $n = 1 + \frac{1}{f\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right)}$ und aus der zweiten für concave Linſen $n = 1 - \frac{1}{f\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right)}$; kennt man alſo die Halbmeſſer der Krümmungen und die Brennweite, ſo läßt ſich n ſofort berechnen. Sind die Halbmeſſer der Krümmungen bekannt, ſo hat man nur die Brennweite zu ermitteln, und dazu bedient man ſich folgenden Verfahrens. AB in beiſtehender Figur iſt ein Maßſtab, auf welchem zwei ſenkrechte Säulchen C und D aufgerichtet ſind, von denen das eine D feſt ſteht und an der nach C gekehrten Seite ein flaches Scheibchen hat, während das andere C ſich verſchieben und in jeder Stellung mittelſt einer Stellſchraube befeſtigen läßt. Es iſt zweckmäßig, wenn überdies eine Schraube ſo angebracht iſt, daß man mittelſt derſelben dem Säulchen C eine feine Bewegung ertheilen kann. C hat oben eine metallene Hülſe, welche zur Aufnahme der Linſe beſtimmt iſt. Läßt man nun von einem ſehr weit entlegenen Gegenſtande Licht auf dieſe Linſe fallen, und nähert ſie der Scheibe an D ſo weit, daß auf dieſer das Bild des Gegenſtandes rein und möglichſt deutlich erſcheint, ſo giebt die Entfernung der beiden Träger die Brennweite f der Linſe. — Durch dies Verfahren erhält man zunächſt nur die Brennweite für convexe Gläſer. Für concave Linſen muß man, da der Brennpunkt negativ iſt, die Linſe mit Papier bedecken, auf dieſem einen Durchmeſſer ziehen und in dieſem in gleichem Abſtande von dem Mittelpunkte zwei kleine Löcher anbringen. Läßt man nun auf eine ſolche Linſe Sonnenſtrahlen fallen, ſo gehen dieſelben ſo durch die kleinen Löcher, als ob ſie von dem negativen Brennpunkte herkämen; fängt man daher mit einem Stabe oder mit einer Scheibe die beiden durchgegangenen Strahlen auf, mißt ihren gegenſeitigen Abſtand und die Entfernung des Stabes oder der Scheibe von der Linſe, ſo erhält man die zur Berechnung der Brennweite nöthigen Beſtimmungen. Iſt nämlich die Entfernung des Stabes von der Linſe = e, der Abſtand der beiden hellen Punkte auf dem Stabe, welcher der Ebene parallel ſein muß, die durch den Rand der Linſe gelegt iſt, = g, der Abſtand der beiden kleinen Löcher von einander = h, ſo erhält man für die Brennweite f:



$$g : h = e + f : f, \text{ alſo: } g - h : e = h : f,$$

$$\text{folglich } f = \frac{eh}{g - h}.$$

Einen neuen Apparat zum Meſſen der Brennweite von Linſen hat S. Merz angegeben, bei welchem namentlich für concave Linſen der Zweck dadurch erreicht wird, daß dieſelben mit einem bekannten Converglaſe verbunden werden *).

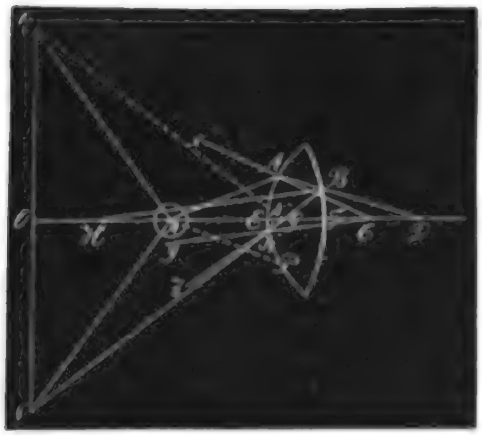
*) Poggend. Ann. Bd. LXIV. S. 321.

Durch dieſe Methoden findet man indeſſen die Brennweite und mithin den Brechungsexponenten nie ſo genau, als es in vielen Fällen nöthig iſt. Aus dem ſo gefundenen beiläufigen Werthe von n den genauen zu ermitteln, dazu hat Stampfer ein Verfahren angegeben, welches auf Folgendem beruht: Wenn von einem leuchtenden Punkte Strahlen auf eine Linſe fallen, ſo dringt ein Theil derſelben in die Linſe ein, erreicht ihre Hinterfläche, wird da zum Theile gegen die Vorderfläche reflectirt und durch dieſe neuerdings gebrochen. In der gehörigen Stellung ſieht man daher das Bild des Gegenſtandes in der Linſe, und man kann von einem Punkte der Axe aus den Winkel meſſen, welchen die nach dem Objecte und nach dem Bilde gerichtete Geſichtslinie macht. Noch ſchärfer wird das Reſultat, wenn man zwei von einem Punkte der Axe der Linſe gleich weit abſtehende Objecte wählt und die Winkel mißt, welche die nach beiden Objecten ſowohl als nach beiden Bildern gezogenen Geſichtslinien mit einander einſchließen, welche Winkel offenbar den doppelten Werth der vorhergehenden haben werden. Man iſt nun im Stande, aus dem Wege des Strahles, von dem Punkte in der Axe angefangen, von wo aus man die Winkel nahm, den genäherten Werth von n trigonometriſch zu berechnen, das Reſultat der Rechnung mit dem der Meſſung zu vergleichen und hieraus auf die Verbeſſerung zu ſchließen, die an n vorzunehmen iſt, um es auf den wahren Werth zu bringen. Zum Meſſen der genannten Winkel bedient man ſich am beſten eines Theodoliths, als leuchtendes Object nimmt man am beſten kleine, runde, an der inneren Seite der Glastafel eines Fenſters aufgeklebte Scheibchen aus ſchwarzem Papier mit einem Durchmeſſer von 1 — 3 L. Man thut gut, die Glastafeln von Außen mit feinem weißen Papier zu überziehen, um die Objecte hell und ſcharf genug zu ſehen und das Fernrohr auf ſie einſtellen zu können. Die Linſe befeſtigt man an ein Geſtell, mittelſt deſſen man ſie in horizontaler und verticaler Richtung etwas drehen kann. Sie ſoll wenigſtens einen Durchmeſſer von 1 — 2 Zoll haben und es müſſen ſowohl ihre Krümmungshalbmeſſer als ihre Dicke genau bekannt ſein. Man ſtellt ſie immer ſo, daß die beiden an der Hinterfläche entſtehenden Bilder in einem größten Durchſchnitt des Glaſes und vom Rande gleich weit entfernt erſcheinen. Man erhält die rechte Stellung leicht, indem man den Abſtand der Bilder vom Rande mit dem Theodolith mißt. Daß die Objecte, der Theodolith und die Bilder in derſelben Ebene liegen müſſen, iſt von ſelbſt klar *). — Ein anderes Mittel giebt Maskelyne an. Man richte ein gutes dioptriſches Fernrohr auf einen ſehr weit entfernten Gegenſtand, z. B. auf den Mond, und ſtelle das Ocular ſo, daß man ihn deutlich ſieht. Hierauf bringe man die Linſe, ohne das Ocular zu verrücken, vor das Objectiv des Fernrohres und ſtelle in einiger Entfernung davon ein mit kleinen Lettern gedrucktes Buch auf, regulire deſſen Entfernung von der Linſe ſo, daß man es durch das Fernrohr leſen kann. In dieſem Falle gelangen von jedem Punkte der Schrift parallele Strahlen ins Fernrohr und die Entfernung des Buches von der Linſe iſt deren Brennweite.

In der eben gegebenen Beſtimmung des Brechungsexponenten, zu der wir noch hinzufügen wollen, daß, wenn man vor Anfertigung der Linſe denſelben für die

*) Wir geben nach Baumgartner, Naturlehre, Supplementband. Wien 1831. S. 436 das mathematiſche Detail dieſes Verfahrens. — Es ſei (ſ. umſtehende Figur) eine

zu verwendende Glasmaſſe beſtimmen will, man das im Art. Brechung des Lichtes Bd. I. S. 877 angegebene Verfahren benutzen kann, — waren die Halbmeſſer der Krümmungen als bekannt vorausgeſetzt. Nun kennt dieſe zwar



beiderſeits convexe Linſe gegeben, L eines der zwei Objecte, welches den Strahl L K auf die Linſe ſendet, der in K gebrochen wird, nach B gelangt, daſelbſt eine Reflexion nach A und hier eine Brechung nach M erleidet, wo ſich der Theodolith befindet. Das zweite Object Q giebt ein ähnliches Bild in der Richtung M P. Die zu meſſenden Winkel ſind nun $QML = 2\alpha$, $AMP = 2\beta$. Die zu meſſenden Entfernungen, M E, welche nahe gleich M A iſt, $= A$, $ML = MQ = B$. Aus der trigonometriſchen Berechnung des Weges des Strahles von M aus ergeben ſich folgende Gleichungen, bei denen die rechts ſtehenden nur kürzer ausgedrückte Werthe der links ſtehenden ſind: (f und g ſind die Radien der Linſe)

1) Für die brechende Vorderfläche:

$$\sin CAD = \frac{CM \sin AMC}{CA} \qquad \text{d. h. } \sin a = \frac{A + f}{f} \sin \beta$$

$$\sin MAD = \frac{\sin MAC}{n} \qquad \text{d. h. } \sin a_1 = \frac{\sin a}{\mu}$$

$$ADC = MAx - AMD - CAD \qquad \text{d. h. } \varphi = a - \beta - a_1$$

$$DC = \frac{CA \sin DAC}{\sin ADC} \qquad \text{d. h. } D = \frac{f \sin a_1}{\sin \varphi}$$

2) Für die reflectirende Hinterfläche.

$$\sin HBD = \frac{HD \sin BDH}{HB} \qquad \text{d. h. } \sin b = \frac{\sin \varphi\,(f + g - c + D)}{g}$$

$$BGD = ABG - BDG \qquad \text{d. h. } b_1 = 2b - \varphi$$

$$HG = \frac{HB \sin HBG}{\sin HGB} \qquad \text{d. h. } E = \frac{g \sin b}{\sin b_1}$$

3) Für die zum zweitenmale brechende Vorderfläche.

$$\sin GKC = \frac{GC \sin CGK}{KC} \qquad \text{d. h. } \sin e = \frac{(f + g - c + E)}{f} \sin b_1$$

$$\sin LKy = n \sin GKC \qquad \text{d. h. } \sin e_1 = n \sin e$$

$$HNK = NKC + NGK - GKC \qquad \text{d. h. } \psi = e_1 + b_1 - e$$

$$NC = \frac{KC \sin NKC}{\sin KNC} \qquad \text{d. h. } F = \frac{f \sin e_1}{\sin \psi}.$$

Die von L auf die Axe gezogene Senkrechte L O läßt ſich nun aus dem Vorhergehenden berechnen, aber auch aus den gemeſſenen Werthen finden. Mittelſt des letzteren Mittels hat man

$$LO = B \sin \alpha.$$

Mittelſt des erſteren wird $On = OM + ME + EC - CN = B \cos \alpha + A + f - F$ bekannt, und daher iſt auch

$$LO = ON \operatorname{tang} \psi = (B \cos \alpha + A + f - F) \operatorname{tang} \psi$$

als gegeben anzuſetzen.

ſtets der Verfertiger der Linſe, aber nicht immer ſind ſie demjenigen bekannt, der ſich einer Linſe bedienen will, daher man auf ein Mittel denken muß, dieſelben aus der Unterſuchung der Linſe ſelbſt zu entnehmen. Boscovich giebt folgendes Verfahren an. Man leite in ein verfinſtertes Zimmer mittelſt eines Helioſtats einen horizontalen Lichtbüſchel, befeſtige aber an der Oeffnung am Fenſter ein Blatt feinen weißen Papieres und über dieſes ein zartes Haar. Iſt nun die zu prüfende Linſe eine Concavlinſe, ſo halte man ſie in den Lichtbüſchel und nähere ſie dem Fenſter ſo weit, bis das durch Reflexion entſtandene Bild des Haares am Fenſterladen neben demſelben ganz deutlich und ſcharf erſcheint. Da von einer hohlen Kugelfläche (als von einem Spiegel) die Strahlen nach dem Mittelpunkte der Kugel reflectirt werden; ſo iſt folglich auch in dem eben angegebenen Falle die Entfernung der Hohlfläche vom Orte des Bildes der Halbmeſſer derſelben. Bei einer doppelt converen Linſe iſt die Unterſuchung in einer der angegebenen ähnlichen Art etwas ſchwieriger. Hier muß man das von der hinteren Fläche reflectirte Bild beobachten. Das Licht wird alſo auf der vorderen Fläche der Linſe zum Theil gebrochen, zum Theil zerſtreut; das gebrochene Licht geht durch das Glas bis zur hinteren Fläche und wird hier zum Theil zurückgeworfen. Dieſes zurückgeworfene Licht wird beim Wiederaustritt aus der vorderen Fläche der Linſe nochmals gebrochen, und ſammelt ſich nun erſt zu einem durch Reflexion entſtandenen Bilde. Dieſes Bild fällt aber, obſchon von der hinteren Fläche reflectirt, nicht in den Mittelpunkt der Kugel, von welcher jene Fläche ein Abſchnitt iſt, weil zweimalige Brechung die Richtung der Strahlen geändert hat. Das Brechungsverhältniß n des Glaſes muß bekannt ſein, um jene Aenderung in Rechnung bringen zu können. Nennt man den Radius der einen converen Fläche r, den der anderen r', und die Entfernung des reflectirten Bildes, welches durch die Fläche von dem Radius r gebildet wird, b, die Entfernung des reflectirten Bildes, welches durch die Fläche von dem Radius r' gebildet wird, b', endlich die Brennweite der Linſe p, ſo findet ſich

$$n = \frac{(b + b')\,p - bb'}{(b + b')\,p - 2bb'}$$

und hat man n berechnet, ſo dienen die Formeln:

$$\frac{1}{b} = \frac{n-1}{r} + \frac{n}{r'} \text{ und}$$

$$\frac{1}{b'} = \frac{n-1}{r'} - \frac{n}{r}$$

um die Werthe von r und r' zu berechnen *).

Iſt demnach für n der wahre Werth gewählt worden, ſo hat man

$$(B \cos \alpha + A + f - F) \operatorname{tang} \psi - B \sin \alpha = 0.$$

Hat man aber für dieſen Ausdruck für einen Werth von n erhalten u, für n + dn aber u_1, ſo wird durch Interpoliren für den wahren Werth von n_1

$$n_1 = n + \frac{u\,dn}{n - u_1}.$$

Für concave Linſen gelten dieſelben Formeln, wenn man den Halbmeſſer der hohlen Fläche negativ nimmt.

*) Eine beſondere Schärfe geſtattet das von Stampfer (Baumgartner a. a. O. S. 643) angegebene Verfahren, das auch auf der Reflexion des Lichtes beruht. Es iſt

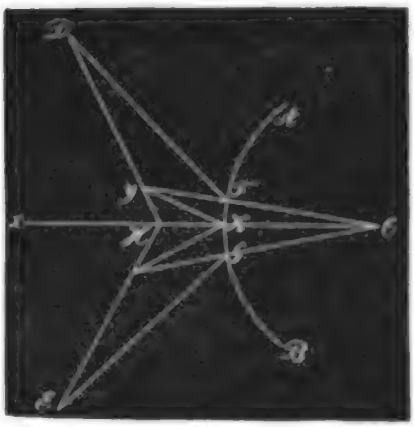
Der Oeffnungsdurchmeſſer und die Dicke in der Mitte einer Linſe können unmittelbar mit dem Zirkel gemeſſen werden. Die letztere läßt ſich aber auch durch Rechnung aus der (gemeſſenen) Randdicke und den Halbmeſſern beſtimmen. Iſt in nebenſtehender Figur die Randdicke der Linſe a b, ihre Dicke in der Mitte f h, ſo iſt $fh = ab + (fg + eh)$. Heißen die Halbmeſſer R und r, die Oeffnung x, ſo iſt $fg = \frac{1}{2}\frac{x^2}{R}$, $he = \frac{1}{2}\frac{x^2}{r}$; folglich $fg + he = \frac{1}{2}x^2\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right)$; und wenn die gemeſſene Randdicke P heißt, ſo iſt die geſuchte Dicke in der Mitte $= P + \frac{1}{2}x^2\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right)$.

I.

---

demjenigen ähnlich, wodurch man das Brechungsverhältniß einer Linſe beſtimmt, und unterſcheidet ſich von demſelben nur dadurch, daß man hier nur die durch Reflexion an der vorderen Glasfläche entſtehenden Bilder mißt. Um es zu verſtehen, ſei A B in nebenſtehender Figur ein Durchſchnitt der zu unterſuchenden ſphäriſchen Fläche, C ihr Mittelpunkt, D und E zwei Objecte, die ihr Licht auf A B ſenden und wovon die von F und G reflectirten Strahlen nach H geſendet werden, wo ſich ein Theodolith befindet, in deſſen Fernrohr die Strahlen F H und G H gelangen können. Liegen nun die Punkte D, F, G, E, H in derſelben Ebene, D und E von H gleich weit entfernt, ſo daß H D = H E iſt, und mißt man mittelſt des Theodoliths die Winkel $EHD = 2DHx = 2\alpha$, $FHG = 2FHC = 2\beta$, ſo kann man daraus mittelſt der Entfernung D H = A, und H K = B den doppelten Einfallswinkel $HFy = 2D$ und mittelſt deſſelben den Halbmeſſer C K = ϱ berechnen.

II.



Es iſt nämlich, wenn man annäherungsweiſe H F = H K ſetzt:

$$HF : HD = \sin HDF : \sin HFD$$

oder

$$B : A = \sin(\alpha + \beta - 2\gamma) : \sin 2\gamma$$

und hieraus

$$\operatorname{tang} 2\gamma = \frac{A \sin(\alpha + \beta)}{B + A \cos(\alpha + \beta)}$$

ferner

$$HF : FC = \sin FCH : \sin FHC$$

oder

$$B : \varrho = \sin(\gamma - \beta) : \sin\beta$$

und daraus

$$\varrho = \frac{B \sin\beta}{\sin(\gamma - \beta)}.$$

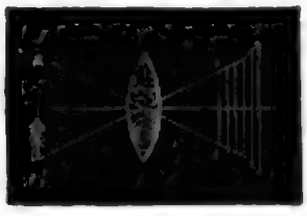
Dieſe Methode iſt auf alle Linſen anwendbar, deren Halbmeſſer nicht viel unter 2 Z. iſt, für kleinere läßt ſie ſich, wie ſie hier dargeſtellt wurde, nicht mehr anwenden. Die Linſe wird aufgeſtellt, wie es oben bei Ermittelung des Brechungsexponenten nach Stampfer's Methode gelehrt wurde, und die Wahl der leuchtenden Punkte wird ebenfalls nach der dort angegebenen Weiſe getroffen.

Digitized by Google

Während man früher die Dicke der Linſen in den aufgeſtellten Theorien immer vernachläſſigte, hat man in neuerer Zeit auch auf dieſe gebührende Rückſicht genommen; wir müſſen indeſſen hier uns mit dem Hinweiſe auf ein größeres dieſen Gegenſtand behandelndes Werk begnügen und empfehlen in dieſer Beziehung: Grunert, Optiſche Unterſuchungen. Leipzig 1846. Bd. I. 1847. Bd. II. 1851. Bd. III.

Eben ſo muß man ſtreng genommen auch die Abweichung wegen der Kugelgeſtalt oder die ſphäriſche Abweichung (ſ. d. Art. Bd. I. S. 99) berückſichtigen. Da wir aber, eben um nicht in zu verwickelte mathematiſche Unterſuchungen zu gerathen, oben nur unter gewiſſen Einſchränkungen die Wirkung der Linſen beſtimmt haben, ſo möge auch für dieſen Punkt auf Grunert's Werk verwieſen ſein.

In unſerer Ableitung der Formeln über die Wirkung der Linſen iſt ein allgemeiner Brechungsexponent vorausgeſetzt. Wir wiſſen aber, daß, wenn wir weißes Licht von einem Gegenſtande durch ein Prisma gehen laſſen, daſſelbe ſo zerlegt wird, daß eine Reihe, einander nur zum Theil deckender farbiger Bilder entſteht (ſ. Art. Brechbarkeit Bd. I. S. 866. Farbe Bd. III. S. 23). Nun haben wir aber ſchon oben die Wirkung der Linſen auf die des Prisma zurückgeführt, und folglich iſt es natürlich, daß wir auch in Bezug auf die Farbenerſcheinungen eine ähnliche Wirkung der Linſen wie der Prismen gewahren. Welchen Erfolg dies hat, wenn man von einem leuchtenden Punkte, der weißes Licht ausſendet, das Licht durch eine Linſe gehen läßt, dies iſt bereits im Artikel Abweichung wegen der Brechbarkeit, chromatiſche Abweichung Bd. I. S. 100 nachgewieſen. Nehmen wir nun ſtatt eines Punktes einen Gegenſtand AB in beiſtehender Figur, ſo entſteht hinter der converen Linſe CD nicht, wie bisher angenommen wurde, Ein Bild des Gegenſtandes, ſondern unzählige von verſchiedener Größe eines hinter dem anderen, unter denen man 6 oder 7 als von verſchiedener Farbe unterſcheiden kann. Die Ränder dieſer Bilder liegen nicht in gerader Linie. Das am weiteſten abſtehende iſt das rothe rr' und dies iſt das größte, das der Linſe nächſte iſt das violette vv' und dies iſt das kleinſte; zwiſchen dieſen beiden liegen die übrigen. Aus dem Begriffe des Abweichungskreiſes (ſ. Art. Abweichung a. a. O.) folgt, daß ſich dieſe Bilder in der Mitte decken, daß hier alſo alle Farben wieder zu weiß geeint ſind, während am Rande der gelbe und rothe Rand merklich die übrigen Farbenbilder überragen. So kommt es denn, daß jedes durch eine convere Linſe von einem Gegenſtande erzeugte phyſiſche Bild dieſen zwar in ſeinen natürlichen Farben zeigt, aber äußerlich umgeben von einem rothgelben Saume, ſobald das von dem Gegenſtande ausgehende Licht nicht einfach iſt. Wenn das Bild des Gegenſtandes kein phyſiſches, ſondern ein mathematiſches wäre, alſo vor der converen Linſe erſchiene, ſo müßte in Betreff des farbigen Randes das Umgekehrte ſtattfinden, weil nun das rothe Bild der Linſe näher ſteht und das kleinere iſt, ſo daß das am weiteſten abſtehende und größte violette Bild über die anderen hervorragen und einen bläulich violetten Saum erzeugen muß.



Dieſelbe Wirkung haben auch die concaven Linſen; da aber — wie wir oben geſehen haben — durch dieſelben nur mathematiſche Bilder erzeugt werden, die vor der Linſe innerhalb der Brennweite zu liegen ſcheinen, und die violetten Strahlen, als die brechbarſten, ein der Linſe näher liegendes Bild geben, als die weniger brechbaren rothen Strahlen, ſo iſt das rothe Bild das größte und das Geſammtbild erſcheint daher in einem gelblich rothen Saume.

Es ſcheint hieraus klar, daß man durch eine Combination aus einer converen und einer concaven Linſe von demſelben Glaſe und derſelben Krümmung die farbigen Säume der Bilder ganz wegbringen kann; da jedoch durch die concave Linſe die in dem Brennpunkte der converen ſich vereinigenden Strahlen wieder eben ſo ſtark divergent gemacht werden, als durch die convere convergent, ſo iſt auch klar, daß die durch eine ſolche Combination gehenden Strahlen ihre urſprüngliche Richtung wieder erhalten müſſen, d. h. daß eine ſolche Combination nur wie ein Parallelglas wirkt, alſo nicht mehr die Wirkung hat, welche man von Linſen gerade verlangt. Wollte man nun der concaven Linſe eine andere Krümmung geben als der converen, ſo würde zwar wieder eine linſenartige Wirkung erzielt werden, aber auch die farbigen Säume würden wieder auftreten. Newton, dem die Farbenlehre (ſ. Art. Farbe und Farbenringe Newton's) ihre Geſtaltung zu danken hat, hielt es nun, wahrſcheinlich weil er nur mit ein und derſelben Glasſorte experimentirte, für unmöglich die Farbenſäume bei Linſen wegzubringen, in der Meinung, daß alle Subſtanzen eine mit dem Brechungsverhältniſſe im Verhältniß ſtehende Farbenzerſtreuung hätten, d. h. daß je größer das Brechungsvermögen eines Körpers, in demſelben Maaße auch die durch denſelben bewirkte Farbenzerſtreuung größer ſei Glücklicher Weiſe iſt dem nicht ſo, ſondern bei gleichem Brechungsverhältniſſe zeigen ſich verſchiedene Zerſtreuungsverhältniſſe bei den verſchiedenen Subſtanzen, worüber Art. Brechbarkeit Bd. I. S. 871 die näheren Angaben enthält; folglich wird es möglich ſein durch Combinationen von converen und concaven Linſen aus verſchiedenen Subſtanzen eine linſenartige Wirkung zu erzielen und dabei die Farbenſäume, wenn nicht ganz, ſo doch theilweiſe zu beſeitigen und ſomit die Linſen brauchbarer zu machen, als es ſonſt der Fall ſein würde.

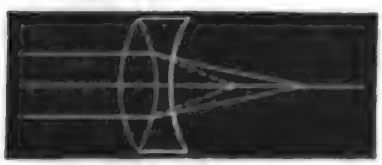
Um dies deutlich zu machen, wollen wir zunächſt die Combination zweier Prismen betrachten, welche einen hindurchgehenden Lichtſtrahl zwar aus ſeiner Richtung ablenkt, aber keine Farbenzerſtreuung zeigt. — Ein ſolches Prisma nennt man ein achromatiſches, d. h. farbloſes und die Beſeitigung der farbigen Säume den Achromatismus. — Denken wir uns zwei Prismen K und F in beiſtehender Figur

aus verſchiedenen Subſtanzen mit den brechenden Winkeln in entgegengeſetzter Lage an einander gelegt, ſo erleidet ein durch beide hindurchgehender Lichtſtrahl eine entgegengeſetzte Brechung und eben ſo entgegengeſetzte Farbenzerſtreuungen. Beſteht nun F aus einer Subſtanz, welche das Licht in bedeutend ſtärkerem Verhältniſſe zerſtreut, als die Subſtanz von K, ſo muß der brechende Winkel von F kleiner ſein, als der von K, wenn in beiden Prismen die Farbenzerſtreuung dieſelbe ſein ſoll. Bricht nun F das Licht eben ſo ſtark als K oder nur wenig ſtärker, ſo wird bei der großen Verſchiedenheit der brechenden Winkel die Ablenkung des Lichtſtrahles in K nicht vollſtändig aufgehoben werden

durch die nicht ſo große Ablenkung in F, obgleich dieſe der vorhergehenden entgegengeſetzt wirkt. Es wird mithin noch Brechung ſtattfinden, während die Farbenzerſtreuung aufhört, ſobald dieſe nicht nur im Ganzen, ſondern auch in den einzelnen Farben des Spectrums übereinſtimmt. Iſt z. B. K aus Kronglas, deſſen Brechungsexponent 1,533 iſt, und F aus Flintglas, welches den Brechungsexponenten 1,642 hat; ſo muß, da die totale Zerſtreuung des Flintglaſes 2,089 Mal größer iſt, als die des Kronglaſes, wenn der brechende Winkel des Kronglaſes z. B. 30° beträgt und der des Flintglaſes $\frac{30^\circ}{2{,}089} = 19^\circ$ iſt, die Farbenzerſtreuung gehoben ſein, während bei der großen Differenz der brechenden Winkel 30° und 19° und den nur wenig verſchiedenen Brechungsexponenten noch eine Brechung eintreten wird.

Erhalten die Spectren in beiden Prismen gleiche Breite, ſo decken ſich jedenfalls die Randſtrahlen, aber damit iſt noch nicht der Achromatismus der mittleren Strahlen nothwendig verbunden; denn dies ſetzt voraus, daß die Strahlen im Spectrum des Flintglaſes in demſelben Verhältniſſe wie bei dem Kronglaſe vertheilt ſeien. Dies iſt nicht der Fall *), folglich kann auch die Aufhebung der Farbenzerſtreuung durch zwei ſolche Prismen nicht vollkommen ſein.

Bei einer Linſe läßt ſich nun die Farbenzerſtreuung auf ähnliche Weiſe heben, wie bei dem Prisma, da die Linſen als Aggregate von Prismen betrachtet werden können, die bei converen Linſen mit dem brechenden Winkel nach der Peripherie, bei concaven mit demſelben nach dem Centrum zu liegen. Setzt man alſo eine convexe Linſe aus Kronglas mit einer concaven aus Flintglas zuſammen (ſ. beiſtehende Figur), ſo wird die Convergenz der Strahlen, welche erſtere bewirkt, durch letztere kleiner, aber es bleibt, wenn die Linſen derartig ſind, daß man dieſelben z. B. als Prismen von 30° im Kronglaſe und von 19° im Flintglaſe anſehen könnte, d. h. wenn die entſprechenden Stellen der Kron- und Flintglaslinſen im richtigen Verhältniſſe geſchliffen ſind, noch Convergenz und die Farbenzerſtreuung iſt vermindert.



Solche Linſen nennt man achromatiſche. Die äußerſten rothen und violetten Strahlen werden dadurch in einem Punkt vereinigt, aber es bleibt immer noch eine Abweichung der mittleren Strahlen übrig, deren Beſeitigung noch eine dritte Linſe erforderlich macht. Auf die mathematiſche Theorie können wir hier nicht eingehen, weshalb wir nochmals auf das Werk von Grunert verweiſen, welches im zweiten Theile die Theorie der achromatiſchen Objective für Fernröhre behandelt, von §. 37. S. 257 an die dreifachen achromatiſchen Objective der Unterſuchung unterwirft, im dritten Theile die Theorie der zweifachen achromatiſchen Objective und die Theorie der zweifachen achromatiſchen Oculare liefert, und im Verlaufe der Entwickelung auch die literariſchen Nachweiſe enthält, welche hier in Betracht zu ziehen ſind. Wir bemerken hier nur noch, daß bei dem Durchgange durch drei Linſen das Licht nothwendig mehr geſchwächt

*) Vergl. Art. Brechbarkeit. Bd. I. S. 869.

wird, als bei der Anwendung von blos zwei Linſen, daß man daher gewöhnlich bei zweifachen Objectiven ſtehen bleibt. Seit Peter Dollond ſind vielleicht auch keine dreifachen achromatiſchen Objective mehr verfertigt worden. — Man kann übrigens auch zwei Convergläſer bei zweckmäßiger Krümmung in einem gewiſſen Abſtande ſo gegen einander aufſtellen, daß ſie achromatiſch wirken (ſ. Art. Mikroſkop).

Um den Achromatismus optiſcher Gläſer zu prüfen, empfiehlt Goring *) als das paſſendſte Object ein kleines Queckſilberkügelchen auf einem vollkommen ſchwarzen oder nicht polirten Grunde, in welchem man ein Licht oder die Sonne oder auch blos das Fenſter ſich abſpiegeln läßt. Man betrachtet dies mittelſt des zu prüfenden Glaſes, innerhalb und außerhalb des Focus, und ſieht zu, ob es dabei Farben zeigt.

Das Geſchichtliche des Achromatismus bietet manche anziehende Punkte dar, und da im Art. Fernrohr Bd. III. S. 108 ff. hierauf nicht ſpeciell eingegangen werden konnte, ſo ergänzen wir dies hier.

Newton hielt den Achromatismus für unmöglich, wie bereits bemerkt worden iſt, und deshalb empfahl er ſtatt der Fernröhre mit Ocular- und Objectivlinſen die Spiegelteleſkope, denen er den größten Grad der Vollkommenheit zu geben ſuchte. Indeß ohne die, wie ſich ſpäter zeigte, unrichtige Annahme Newton's zu widerlegen, ſprach doch Euler die Vermuthung aus, daß durch gewiſſe Zuſammenſetzungen verſchiedener Mittel eine Aufhebung der Farbenerſcheinung möglich ſein müſſe, indem im menſchlichen Auge, in welchem doch ebenfalls Brechung durch eine Linſe ſtattfände, die Gegenſtände nicht mit Farbenrändern umgeben ſcheinen, welches keine andere Urſache haben könne, als dieſe, daß die verſchiedenen Flüſſigkeiten im menſchlichen Auge ſo geordnet wären, daß durch dieſelben die Ausbreitung und Zerſtreuung der Vereinigungspunkte gänzlich aufgehoben würden. Dieſen letzten Satz hat zwar Maskelyne **) zu widerlegen geſucht, indeß wurde die Möglichkeit der Herſtellung von Linſengläſern ohne Farbenzerſtreuung, ſogenannter achromatiſcher Linſen bald durch die Ausführung ſelbſt beſtätigt. Die Unrichtigkeit der Newton'ſchen Behauptung wurde von Klingenſtierna ***) dargethan, und gezeigt, daß verſchiedene Stoffe nicht in demſelben Verhältniß, in welchem ſie das Licht ungleich brechen, auch Farbenzerſtreuung bewirkten. Der Engländer John Dollond, der ſchon einmal, aber vergeblich, nach Euler's Vorſchlage achromatiſche Linſen zu conſtruiren verſucht hatte, ſtellte nun zum zweiten Male in dieſer Beziehung Verſuche an und kam durch dieſelben zur Erfindung der achromatiſchen Linſen und Fernröhre. Er nahm zwei Glasſtreifen, kittete ſie an ihren Rändern ſo zuſammen, daß daraus ein prismatiſches Gefäß entſtand, wenn die Oeffnungen an den Grundflächen verſchloſſen wurden. Die Schärfe kehrte er unterwärts, ſtellte in das Gefäß ein gläſernes Prisma mit einer ſeiner Schärfen aufwärts und füllte den übrigen Raum mit Waſſer an. So wie er fand, daß das Waſſer das Licht mehr

*) Brewster's Edinb. phil. Journ. 1831. Jul. 68.

**) Gilbert's Ann. Bd. XVII. S. 328; Bd. XXX. S. 220.

***) Abhandlungen der Schwed. Akad. Jahrg. 1754.

oder weniger als das Glas brach, ſo verminderte oder vergrößerte er den Winkel der Glasſcheiben, bis er beide Brechungen einander gleich fand, welches geſchah, wenn ein Object durch das doppelte Prisma betrachtet weder ſich zu erhöhen noch zu ſenken ſchien. In dieſem Falle waren die Brechungen ſich gleich und die ausfahrenden Strahlen den einfahrenden parallel. Nach Newton hätte nun mit der Ablenkung durch Brechung zugleich die Farbenzerſtreuung aufgehoben ſein müſſen; das Object hätte in ſeinen natürlichen Farben erſcheinen müſſen. Dies war aber nicht der Fall, ſondern das Object erſchien eben ſo ſtark mit Farbenſäumen umgeben, als wenn es durch ein Prisma mit einem brechenden Winkel von etwa 30° betrachtet worden wäre. Nun ſuchte Dollond umgekehrt eine Brechung ohne Farbenzerſtreuung zu bewerkſtelligen, welches ihm in folgender Weiſe gelang. Er ſchliff ein Glas aus gemeinem Tafelglaſe ſo, daß der Winkel deſſelben etwa 9 Grad betrug, ſtellte dieſes wie vorher in ein keilförmiges Gefäß mit Waſſer, deſſen Winkel er ſo lange vergrößerte, bis die Zerſtreuung des Lichtes durch das Waſſer ſo groß war, als die durch das Glas, d. h. bis das Object, ungeachtet es wegen der ſtärkeren Brechung durch das Waſſer ſehr verrückt erſchien, dennoch von den Farben, welche die verſchiedene Brechbarkeit des Lichtes erzeugt, frei blieb. Nun machte Dollond die Bemerkung, daß auch verſchiedene Glasſorten das Licht in anderen Verhältniſſen brechen, als ſie Zerſtreuung in Farben bewirken. Namentlich fand er, daß Kronglas das Licht am wenigſten, weißes Flintglas dagegen am meiſten zerſtreut, obgleich die Brechungen beider Glasarten faſt gleich ſind. Dollond ſtellte daher zuerſt ein achromatiſches Prisma aus Kron- und Flintglas her, wovon jenes einen brechenden Winkel von 30°, dieſes einen Winkel von 19° hatte. Im Jahre 1758 vollendete Dollond das erſte achromatiſche Fernrohr; leider ſtarb er aber bereits 1761. — Hiſtoriſch merkwürdig iſt übrigens, daß bereits 1729 oder 1733 Cheſter More Hall aus Eſſex Doppelobjective ſchleifen ließ, zu denen er die Halbmeſſer angab und durch welche er nicht nur die Abweichung wegen der ſphäriſchen Geſtalt der Gläſer, ſondern auch die Farbenzerſtreuung beſeitigen wollte. Er brachte auch Objective zu Stande, aber erſt als Dollond mit ſeinen Inſtrumenten auftrat, wurden ſeine Bemühungen bekannt *). Ueber Blair's und Barlow's Bemühungen Achromatismus dadurch zu erreichen, daß eine mit Flüſſigkeit gefüllte Linſe der Glaslinſe beigefügt wurde, vergl. Art. Fernrohr Bd. III. S. 115.

Viele Verſuche über Stoffe, welche ſich zu achromatiſchen Apparaten anwenden laſſen, ſind von Brewſter angeſtellt worden. Derſelbe hat die unterſuchten Stoffe in einer Tabelle zuſammengeſtellt, ſo daß je zwei dieſer Stoffe zuſammen ein ſecundäres Spectrum mit vorherrſchendem Grün geben, und daß dieſes Spectrum um ſo größer erſcheint, je weiter die zwei Körper in dieſer Tabelle von einander abſtehen. Je näher bei einander je zwei dieſer Stoffe in der Tafel ſtehen, deſto tauglicher ſind ſie zu achromatiſchen Apparaten. Die Tafel iſt folgende:

*) Gilbert's Ann. Bd. XXXIV. S. 243. Philos. Magaz. 1829. p. 233. Edinburgh Encyclop. T. XX. p. 479.

Stoffe.	Stoffe.
1) Schwefelſäure.	45) Nußöl.
2) Phosphorſäure.	46) Sebenbaumöl.
3) Schweflige Säure.	47) Rautenöl.
4) Phosphorige Säure.	48) Buchelöl.
5) Schwefelwaſſerſtoffſäure.	49) Salpeter.
6) Waſſer.	50) Diamant.
7) Eis.	51) Harz, gemeines.
8) Weißes vom Ei.	52) Copalgummi.
9) Bergkryſtall.	53) Caſtorfett.
10) Salpeterſäure.	54) Chamillenöl.
11) Blauſäure.	55) Dillſamenöl.
12) Salzſäure.	56) Wermuth.
13) Salpetrige Säure.	57) Majoranöl.
14) Eſſigſäure.	58) Bergamotöl.
15) Apfelſäure.	59) Pfeffermünzöl.
16) Zitronenſäure.	60) Thymianöl.
17) Flußſpath.	61) Muscatnußöl.
18) Topas (blauer).	62) Feldkümmelöl.
19) Beryll.	63) Limoniöl.
20) Selenit.	64) Bernſtein.
21) Leucit.	65) Frauenmünzöl.
22) Turmalin.	66) Hyſſopöl.
23) Borax.	67) Mohnöl.
24) Boraxglas.	68) Flohkrautöl.
25) Aether.	69) Salbeiöl.
26) Alkohol.	70) Terpentinöl.
27) Arabiſches Gummi.	71) Canadabalſam.
28) Kronglas.	72) Lavendelöl.
29) Mandelöl.	73) Salzſaurer Spießglanz.
30) Weinſteinſaures Kali und Soda.	74) Gewürznelkenöl.
	75) Fenchelſamenöl.
31) Wachholdergummi.	76) Rothes Glas.
32) Steinſalz.	77) Orangefarbiges Glas.
33) Kalkſpath.	78) Opalfarbiges Glas.
34) Bernſteinöl.	79) Bleizucker, geſchmolzen.
35) Wachholderöl.	80) Ambra.
36) Spermacetöl.	81) Saſſafraöl.
37) Rübsöl.	82) Kümmelöl.
38) Olivenöl.	83) Aniſſamenöl.
39) Zirkon.	84) Bittermandelöl.
40) Flintglas.	85) Kohlenſaures Blei.
41) Rhodiumöl.	86) Tolubalſam.
42) Roßmarinöl.	87) Schwefelalkohol.
43) Bockshornöl.	88) Schwefel.
44) Copaivabalſam.	89) Ricinusöl.

Die Achromatiſirung führt uns nochmals zu der Abweichung wegen der Kugelgeſtalt, über welche wir zwar oben bereits die nöthigen Hinweiſungen gegeben haben, für deren Beſeitigung ſich aber jetzt eine Möglichkeit überſehen läßt, ſo daß wir dies nicht mit Stillſchweigen übergehen können. Wenn wir mit Hülfe einer Linſencombination im Stande ſind die verſchiedenen Brennweiten der verſchiedenen Farben zum Zuſammenfallen zu bringen, ſollte es da nicht auf gleichem Wege zu erreichen ſein die von einem Punkte ausgehenden Strahlen auch — ſtatt in eine Brennlinie — in einen Brennpunkt zu concentriren? Nach Herſchel d. J. iſt dieſe Abweichung durch zwei verbundene dünne, ſich berührende Linſen in der That gänzlich zu beſeitigen, und er hat dafür Formeln und Beiſpiele für die Rechnung angegeben, nach denen die Verhältniſſe der Radien zu dieſem Zwecke zu beſtimmen ſind. Gleichzeitig weiſt er nach, daß bei einem einzelnen Glaſe, ſowohl bei einem biconveren als biconcaven die Abweichung wegen der Kugelgeſtalt möglichſt klein wird, wenn der Halbmeſſer der Hinterfläche 6 bis 7 Mal ſo groß als der Halbmeſſer der Vorderfläche iſt. Gläſer, welche von der ſphäriſchen und chromatiſchen Abweichung frei ſind, nennt man übrigens (ſ. Art. Fernrohr Bd. III. S. 115) aplanatiſche *). Herſchel hat eine kleine Tafel berechnet, welche die den verſchiedenen Zerſtreuungsverhältniſſen angemeſſenen Halbmeſſer angiebt, und Barlow hat dieſelbe vervollſtändigt. Hiernach kann man in jedem einzelnen Falle die vorzüglich brauchbare Geſtalt der Gläſer beſtimmen **).

In neuerer Zeit hat Kellner in Wetzlar in ſeinem orthoſkopiſchen Oculare eine achromatiſche Linſencombination zu Stande gebracht, welche dem aſtronomiſchen Fernrohre, mit Einſchluß des dialytiſchen Rohrs, und dem Mikroſkope, bei einem ſehr großen Geſichtsfelde ein vollkommen ungekrümmtes, perſpectiviſch richtiges, ſeiner ganzen Ausdehnung nach ſcharfes Bild ertheilt, ſo wie auch den blauen Rand des Geſichtsraumes aufhebt ***)

In Betreff der anderen Stoffe, welche man neben dem Glaſe zu Linſen verwendet hat, ſei bemerkt, daß Pritchard aus Diamanten und aus Saphiren Linſen geſchliffen hat. Dieſe Edelſteine haben ein ſtärkeres Brechungsvermögen als Glas, und man kann daher aus ihnen Linſen nach größeren Halbmeſſern ſchleifen, die eben ſo viel leiſten wie Glaslinſen mit kleineren Halbmeſſern, während die mit der Größe der Halbmeſſer zuſammenhängende Abweichung wegen der Kugelgeſtalt geringer iſt. Der hohe Preis dieſer Edelſteinlinſen ſteht indeſſen der ausgebreiteteren Einführung im Wege. Linſen aus Bergkryſtall ſind häufiger und Canchoix hat ſolche zu achromatiſchen Gläſern ſtatt des Kronglaſes benutzt. Fernröhre mit ſolchen Objectiven ſollen ſich bei gleicher Deutlichkeit und größerer Helligkeit durch geringere Länge auszeichnen ****).

*) Phil. Transact. for 1821. p. 246.

**) Man findet dieſe Tafel nebſt einer Anleitung zum Gebrauche und zugleich nähere Angaben über das Schleifen und Poliren der Gläſer in: Prechtl's praktiſche Dioptrik, als vollſtändige und gemeinfaßliche Anleitung zur Verfertigung achromatiſcher Fernröhre. Wien 1828.

***) Kellner, das orthoſkopiſche Ocular. Braunſchweig 1849. Die Schrift enthält jedoch nicht die Zergliederung der Einrichtung dieſes Oculars und die Entwickelung der Grundprincipien, auf welche der gute Erfolg ſich gründet, ſondern berichtet nur über die Leiſtungen des Oculars.

****) Schweigger's Journ. Bd. LX. S. 67. Fechner's Repert. Bd. II. S. 179.

Digitized by Google

C. Anwendung der Linſengläſer.

Die Linſengläſer werden entweder einzeln oder in Combinationen zu zweien und mehreren angewendet. Es handeln hiervon beſondere Artikel und verweiſen wir deshalb auf Art. Brennglas Bd. I. S. 906; Brillen Bd. I. S. 912; Camera obſcura Bd. I. S. 933; Fernrohr Bd. III. S. 96; Mikroſkop, welcher auch von den Loupen handelt; Zauberlaterne.

Lithium, ein einfacher Körper zur Gruppe der Alkalimetalle gehörend. Chemiſches Zeichen: Li. Aequivalent = 81,66 (O = 100) oder 6,5 (H = 1). Das Metall kommt in der Natur als ſolches nicht vor, ſondern nur die Verbindung deſſelben mit Sauerſtoff und zwar in ſehr geringen Mengen. Aus dem Lithiumoxydhydrat wurde das Metall mit Hülfe der Volta'ſchen Säule von Davy*) und Brande**) 1818 dargeſtellt, nachdem Arfoedſon***) ein Jahr vorher bei der Unterſuchung verſchiedener ſchwediſcher Mineralien aufmerkſam gemacht durch einen bedeutenden Verluſt, der ſich bei der Analyſe des einfach zuſammengeſetzten Petalit herausſtellte, die eben genannte Verbindung im Laboratorium von Berzelius entdeckt hatte. Er ſowohl, wie Gmelin****) verſuchten vergebens das Metall daraus zu gewinnen; eben ſo wenig gelangte Kralovanszky*****) bei der Anwendung von Eiſen, Kohle oder Kalium als Reductionsmittel zum Ziele.

Wegen der Seltenheit der Lithiumverbindungen und mehr noch wegen der ſchwierigen Darſtellung des Metalles aus dieſen waren unſere Kenntniſſe über das Lithium lange Zeit ſehr beſchränkt. Es ſollte im Allgemeinen dem Natrium gleichen und ſich ſehr leicht oxydiren. Erſt in ganz neueſter Zeit haben wir durch Bunſen, deſſen Ideen durch Matthieſſon zur Ausführung gebracht worden ſind, nähere Aufſchlüſſe darüber erhalten †). Sie haben gefunden, daß gerade das Lithium unter allen anderen ähnlichen Metallen am leichteſten auf elektrolytiſchem Wege gewonnen werden kann und zwar aus der Verbindung mit Chlor, die in einem möglichſt dickwandigen kleinen Porzellantiegel über der Berzeliuslampe geſchmolzen wird. Zur Reduction genügen 4 bis 6 Kohlenzinkelemente. Der Strom geht von einer Spitze aus Gaskohle durch das geſchmolzene Chlorür in einen ſtecknadeldicken Eiſendraht.

Am beſten gelingt die Abſcheidung des Metalles, wenn man die Dichte des Stromes außerordentlich ſteigert. Die dazu dienende Vorrichtung iſt folgende. Einen kleinen Tiegel und eine kleine Thonzelle füllt man mit dem völlig waſſerfreien, etwas Salmiak enthaltenden Chlorür ſo an, daß in der Thonzelle, wenn das Chlorür geſchmolzen iſt, das Niveau viel höher ſteht, als in dem Tiegel. Der äußere, die Thonzelle umgebende Chlorpol wird durch einen Eiſenblechcylinder, der Metallpol durch einen nicht bis zum Boden der Thonzelle reichenden dickeren Eiſendraht gebildet. Dieſer ſteckt in einem Stücke eines irdenen Pfeifenſtieles, aus

*) Gilbert's Ann. Bd. LIX. S. 244.
**) Scherer's Ann. Bd. VIII. S. 120.
***) Schweigger's Journ. Bd. XXI. S. 44. Bd. XXII. S. 99.
****) Gilbert's Ann. Bd. LXII. S. 418.
*****) Schweigger's Journ. Bd. LIV. S. 233.
†) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCIV. S. 107.

dem das nur 2 Linien lange Ende eines feinen Claviersaitendrahtes hervorragt, das mit dem dicken Drahte verbunden ist. Unter dem geschmolzenen Chlorlithium sammelt sich das Metall zu einem silberweißen Regulus, der dem Drahte anhängt. Man hebt ihn mittelst eines kleinen eisernen flachlöffelförmig vertieften Spatels aus dem geschmolzenen Chlorlithium heraus, wobei er von letzterem firnißartig überzogen bleibt, und kühlt ihn in Steinöl ab. In kurzer Zeit kann man eine Unze Chlorlithium reduciren, da man alle 3 Minuten ein Metallkorn von der Größe einer kleinen Erbse erhält.

Das Lithium hat die Farbe des Silbers und läuft auf der frischen Schnittfläche etwas gelblich an, während der Strich des Lithiums auf dem Probirsteine grau ist. Der Schmelzpunkt liegt bei 180°. Wird das geschmolzene Metall zwischen zwei Glasflächen schnell gepreßt, so bildet es eine Spiegelbelegung, die an Farbe und Glanz vollkommen dem polirten Silber gleich kommt. Bei einer Temperatur über 180° entzündet sich das Metall und verbrennt mit einem weißen, sehr intensiven Licht, ohne Funkensprühen, wobei es jedoch eine sehr große Hitze verbreitet. In der Rothglühhitze verflüchtigt es sich noch nicht.

Es ist sehr zähe und läßt sich wie Blei zu Draht ziehen; bei gewöhnlicher Temperatur kann es durch Zusammendrücken geschweißt werden. Unter allen festen Körpern ist das Lithium der leichteste (spec. Gew. = 0,5936), so daß es selbst auf Steinöl schwimmt. Es oxydirt sich weniger leicht als Kalium und Natrium. In Chlor, Sauerstoff, Brom und Joddampf, auf kochendem Schwefel verbrennt das Lithium gleichfalls mit außerordentlichem Glanz und blendend weißem Licht; eben so verhält es sich in trockener Kohlensäure. Auf Wasser oxydirt es sich wie Natrium ohne zu schmelzen. Auf rauchender Salpetersäure kommt das Lithium oft zum Brennen; Salzsäure und verdünnte Schwefelsäure lösen es unter stürmischer Gasentwickelung, concentrirte Schwefelsäure jedoch nur langsam auf. Kieselerde, Glas und Porcellan werden vom Lithium schon unter 200° reducirt.

Man kennt nur eine Verbindung dieses Metalles mit Sauerstoff, nämlich das Lithiumoxyd (LiO), auch Lithion, von λίθειος, steinern, abgeleitet, um dadurch auf die erste Entdeckung im Mineralreich hinzuweisen, während die anderen Verbindungen bei den Alkalien zuerst in organischen Gebilden aufgefunden worden sind. Wegen der großen Aehnlichkeit dieses Namens mit dem des Metalles ist es wohl zweckmäßiger nach der Analogie von Natron das Alkali Lithon zu nennen. Diese Verbindung findet sich in sehr geringen Mengen in verschiedenen Mineralien enthalten. Petalit (kieselsaure Thonerde und kieselsaures Lithon und Natron), in welchem das Alkali zuerst entdeckt wurde, enthält 2,66 bis 5,76 Proc., Opodumen (dieselben chemischen Bestandtheile, wie das erstere Mineral enthaltend) 2,9 bis 8,85 Proc., Lepidolith (Lithonglimmer; kieselsaure Thonerde, Eisenoxyd, Manganoxyd, Fluorkalium, Fluorlithium (?) 1,6 bis 5,67 Proc., Triphyllin (phosphorsaures Eisenoxydul, Manganoxydul und Lithon) 3,4 bis 8,2 Proc., Amblygonis bis zu 11 Proc. und Turmalin 2,04 bis 5 Proc. Wir bemerken hier jedoch, daß die hohen Angaben zumeist älteren Untersuchungen entnommen sind, bei denen man auf den gleichzeitigen Natrongehalt der Mineralien nicht gebührend Rücksicht genommen hat. Zu diesen Mineralien ist in neuerer Zeit noch der Kastor getreten, ein für Quarz gehaltenes Mineral aus dem Granit von Elba (kiesel-

ſaure Thonerde und kieſelſaures Lithon), mit 2,76 Proc. Lithon. In bei weitem geringeren Mengen kommt das Lithon auch in ſehr vielen Mineralwäſſern vor (Karlsbad, Franzensbad, Marienbad, Pyrmont, Hofgeismar, Kiſſingen, Hall in Oeſterreich, Mönchshofen, Bilin, Klauſen in Steiermark, Hohenſtein, Kreuznach, Lavey bei Ber, Slintſch in Ungarn).

Das Lithon ſtellt man zumeiſt aus dem Lepidolith dar, der beſonders häufig in Mähren vorkommt. Um die Kieſelſäure abzuſcheiden, miſcht man das geſchlämmte Mineral mit dem doppelten Gewicht Kalk und glüht dann ſtark. Die gepulverte Maſſe löſt man in einem Gemiſch von Salz- und Schwefelſäure auf, dampft die Löſung zur Trockne ein und entfernt den Ueberſchuß der Schwefelſäure durch Glühen. Durch Waſſer zieht man das ſchwefelſaure Lithon neben ſchwefelſaurer Thonerde und Gyps aus, von denen die erſtere durch Digeſtion mit Kreide, der letztere durch oxalſaures Ammoniak entfernt wird. Lepidolith, Opodumen und Petalit werden nach Joß *) einfach durch Digeſtion mit concentrirter Schwefelſäure in Steingutgefäßen aufgeſchloſſen und dann die Schwefelſäure verjagt. Die Maſſe zieht man mit Waſſer aus, verſetzt die Löſung mit Ammoniak, filtrirt, dampft ab und glüht. Neben dem ſchwefelſauren Lithon bleibt gleichfalls ſchwefelſaures Kali oder Natron zurück. Die Schwerlöslichkeit des kohlenſauren Lithons giebt uns ein Mittel, die letzteren Alkalien zu entfernen. Zu dem Ende entfernt man die Schwefelſäure durch eſſigſauren Baryt und verwandelt die eſſigſauren Salze durch Glühen in Kohlenſäure. Aus der concentrirten Löſung der letzteren ſcheidet ſich das kohlenſaure Lithon aus, das durch Abwaſchen mit kaltem Waſſer gereinigt wird. Die Mutterlauge dampft man zur Trockne ab und entfernt daraus die leichter löslichen kohlenſauren Salze durch kaltes Waſſer. Die Gewinnung des Lithons durch Aufſchließen der Mineralien mittelſt concentrirter Schwefelſäure iſt darum der durch Glühen mit Kalk oder Baryt vorzuziehen, weil bei der letzteren Operation die Gefäße aus Platin und Silber durch das Lithon bedeutend angegriffen werden. Bei allen Mineralien, die Lithon enthalten, iſt aber leider die erſtere Methode nicht anwendbar.

Nach Fuchs **) ſtellt man das Lithon aus dem Triphyllin, der beſonders am Rabenſtein unweit Bodenmais in Baiern vorkommt, auf folgende Weiſe dar. Aus der Löſung des Minerals in Salz- oder Schwefelſäure entfernt man das phosphorſaure Eiſen- und Manganoxydul nach der Oxydation mittelſt Salpeterſäure durch Ammoniak und den Reſt des Mangans durch Schwefelwaſſerſtoffammoniak. Beim Verdampfen des Filtrates bleibt dann Chlorlithium oder ſchwefelſaures Lithon zurück.

H. Müller hat gleichfalls ein Verfahren angegeben ***), um aus dem Triphyllin, der wegen ſeines großen Gehaltes an Lithon und ſeiner Auflöslichkeit in Säuren das zweckmäßigſte Material dafür abgiebt, dieſes ſeltene Alkali zu gewinnen. Dieſes Verfahren bietet vor dem bisher angewandten mancherlei Vorzüge. Die Zerſetzung des gröblich gepulverten Minerals geſchieht durch concen-

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. 1. S. 139. Das Aufſchließen durch Schwefelſäure war bereits früher ſchon durch Gmelin (Gilbert's Ann. Bd. LXIV. S. 371) empfohlen.

**) Journ. f. prakt. Chemie. Bd. V. S. 319.

***) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXIII. S. 148.

trirte Salzsäure unter Zusatz von Salpetersäure, um das Eisen in Oxyd zu verwandeln. Die Lösung wird zur Trockne eingedampft und die zurückgebliebene, fein gepulverte Masse mit Wasser ausgekocht. Diese Lösung enthält nur die Chlorüre von Lithium, Mangan und Magnesium. Um die beiden letzteren zu entfernen, mischt man frischbereitetes Kalkhydrat im Ueberschuß hinzu und kocht längere Zeit bei Zutritt der Luft. Das Lithon bleibt in der Lösung, aus der der Kalk durch ein Gemisch von kaustischem und kohlensaurem Ammoniak gefällt wird. Das Filtrat wird eingedampft und das feste Chlorlithium im Porzellantiegel zum Schmelzen erhitzt. Um die darin enthaltene kleine Menge Chlornatrium zu entfernen, digerirt man die Masse mit einem Gemisch von Alkohol und Aether, welches das Chlornatrium ungelöst zurück läßt. Will man reines Lithon bereiten, so verwandelt man das Chlorlithium dadurch in kohlensaures Salz, daß man es in der kleinsten erforderlichen Menge concentrirten kaustischen Ammoniaks auflöst und in diese möglichst kalt gehaltene Auflösung Stückchen von kohlensaurem Ammoniak legt. Versäumt man die letztere Vorsicht, so setzt sich das kohlensaure Lithon mit Chlorammonium wieder in Chlorlithium und kohlensaures Ammoniak um. Das in der Kälte gefällte kohlensaure Lithon mischt man auf einem Filter mit Alkohol aus und entfernt so das Chlornatrium. Setterberg hat gefunden *), daß der Opodumen, als feines Pulver gemengt mit Kohle oder noch besser gemengt und verkohlt mit Oel oder Zucker, in einem glühenden Porzellanrohr so leicht durch einen Strom von Chlorgas zersetzt wird, daß man das Lithonsalz durch Wasser ausziehen kann.

Das Lithonhydrat wird eben so dargestellt wie die Hydrate der anderen Alkalien; im wasserfreien Zustande hat man das Lithon noch nicht erhalten. Im festen Zustande bildet es eine weiße Masse; beim Verdampfen der Lösung scheidet es sich als Pulver oder in körnigen Krystallen aus. Es zieht zwar aus der Luft Kohlensäure an, aber es zerfließt nicht mit Kali und Natron; es ist in Wasser weit weniger löslich wie diese Alkalien, und zwar wird es vom heißen Wasser kaum in größeren Mengen aufgenommen als vom kalten. Es besitzt eine stark alkalische Reaction, schmeckt scharf und ätzend und wirkt stark zerstörend auf die thierische Haut. Es schmilzt sehr leicht, greift aber hierbei das Platin sehr an, weshalb man diese Operation wie beim Kali im Silbertiegel vornehmen muß, der freilich auch nicht ganz verschont bleibt.

In seinen chemischen Eigenschaften steht das Lithon den Alkalien sehr nahe, weshalb wir hier auf die einzelnen Salze und die Verbindungen des Lithium mit anderen Elementen nicht näher eingehen, zumal diese selbst in den chemischen Sammlungen der Universitäten zu den Seltenheiten gehören und wegen ihres bedeutenden Preises auch keine Verwendung gefunden haben. Es genügt hier die Literatur anzuführen **).

---

*) Pogg. Ann. Bd. XXXVIII. S. 480.

**) Arfvedson, Schweigger's Journ. Bd. XXII. S. 101, Bd. XXXIV. S. 217. Kralovanszky, ebenda Bd. LIV. S. 346. Gmelin, Gilbert's Ann. Bd. LIX. S. 238, Bd. LXII. S. 404 und Bd. LXIV. S. 371. Anthon, Journ. f. pract. Chem. Bd. VIII. S. 405. Heller, ebenda Bd. XII. S. 236. Wächter, ebenda Bd. XXX. S. 322. Berzelius, Pogg. Ann. Bd. I. S. 17, 45 und 191, Bd. II. S. 121, Bd. VI. S. 439 und 454, Bd. VII. S. 17, 140 und 270, Bd. VIII. S. 417, Bd. XXII.

Im Allgemeinen ſind die Lithonſalze, wie die der Alkalien überhaupt, im Waſſer leicht löslich; doch treten hier ſchon Verhältniſſe auf, durch die das Lithon, ſo wie durch die Schwerlöslichkeit des Hydrates, den Uebergang zu den alkaliſchen Erden bildet. So z. B. ſind das kohlenſaure und das phosphorſaure Lithon wenig in Waſſer löslich. Die Lithonſalze werden jetzt in größeren Mengen aus der Kreuznacher Mutterlauge, die nach Fikentſcher*) in 1000 Th. 4,53 Chlorlithium enthält, in der chemiſchen Fabrik des Dr. Marquardt bei Bonn dargeſtellt. Das kohlenſaure Salz koſtet die Unze 7 Thlr. 5 Ngr., das ſchwefelſaure Salz und die Chlorverbindung $5^1/_2$ Thlr. Auch von England aus waren Lithiumſalze in ſeltenen Mengen zur Pariſer Ausſtellung eingeſendet.

Durch die rothe Färbung, welche das Lithon der Löthrohrflamme ertheilt, läßt es ſich leicht von dem Kali und Natron unterſcheiden. Dieſelbe Färbung ertheilen dieſe Salze auch der Weingeiſtflamme. Selbſt große Mengen von Kali verdecken die Reaction nicht, wohl aber geringe Mengen von Natron. Verfährt man bei den Löthrohrprüfungen auf gewöhnliche Weiſe, ſo neigt ſich die Flamme erſt deutlich ins Orange, wenn nur 1 Th. Chlornatrium in 1000 Th. Chlorlithium enthalten iſt. Wendet man jedoch eine geringere Hitze an, durch die das Chlorlithium vor dem Chlornatrium verflüchtigt wird, ſo tritt die Reaction des erſteren noch deutlich hervor, ſelbſt wenn nur 1 Th. deſſelben in 1000 Th. Chlornatrium enthalten iſt **). Auch von dem Strontian, das dieſelbe Reaction theilt, kann man das Lithon ſehr leicht dadurch unterſcheiden, daß bei erſterem die rothe Färbung der Flamme durch Zuſatz von Chlorbarium vernichtet wird, während ſie bei dem letzteren nicht verſchwindet.

Die Trennung des Lithon von den übrigen Oxyden, mit Ausnahme der Alkalien, haben wir hier nicht zu beſprechen, da ſie ſich ſehr leicht auf bekannte Art bewerkſtelligen läßt. Will man das Lithon von den Alkalien trennen, ſo verwandelt man dieſe in Chlormetalle und ſetzt Platinchlorid zu der Löſung derſelben. Man dampft im Waſſerbade zur Trockne ein und ſondert das Lithon und Natron durch Weingeiſt. Dieſe Löſung enthält auch das überſchüſſig zugeſetzte Platinchlorid, das durch Salmiak abgeſchieden wird. Das Filtrat dampft man ein und glüht den Rückſtand, der endlich mit einem Gemiſch von waſſerfreiem Alkohol und Aether behandelt wird, wobei das Chlornatrium ungelöſt zurückbleibt. W. B.

Locomotive. Locomotiven oder Dampfwagen ſind bewegliche Dampfmaſchinen, beſtimmt dazu ſich ſelbſt und eine mit ihnen verbundene Wagenreihe auf einer Eiſenbahn fortzuziehen. Die Bedingungen, unter denen die Locomotivdampfmaſchinen arbeiten ſollen, ſind ſo weſentlich verſchieden von denen ſtehender Maſchinen, daß ihnen auch eine ganz andere Einrichtung gegeben werden mußte. Bevor wir auf die Beſchreibung der Locomotiven ſelbſt eingehen, wird es zur

S. 54, Bd. XXXII. S. 389 u. 604, Bd. XXXVI. S. 15. Marchand, ebenda Bd. XLI. S. 613. Hermann, ebenda Bd. XV. S. 480. Rammelsberg, ebenda Bd. XLIV. S. 535, Bd. LV. S. 63, Bd. LXIV. S. 270, Bd. LXVI. S. 79, Bd. LXXVI. S. 261. Danſon, Liebig's Ann. Bd. LXXII. S. 228.

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. V. S. 321.

**) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XXXI. S. 361.

Ueberſicht über den vor uns liegenden Gegenſtand nützlich ſein, wenn wir zunächſt auf dieſe Verſchiedenheit unſere Aufmerkſamkeit richten.

Die Hauptſchwierigkeit, welche bei der Erfindung der Locomotiven zu überwinden war, beſtand darin, daß man die ganze Dampfmaſchine mit allen Nebenapparaten, mit dem Speiſewaſſer und dem für einige Zeit nothwendigen Brennmaterial auf ein ſo kleines Volumen und Gewicht beſchränken mußte, daß ſie auf ein oder zwei Wagen von nicht zu großen Dimenſionen verladen werden konnte, dabei aber noch ſo viel Kraft beſaß, ſich ſelbſt und noch eine daran gehängte Laſt fortzuziehen. Denn baute man kleine Dampfmaſchinen, ſo hatten ſie nicht Kraft genug ſich fortzuziehen, geſchweige noch eine daran gehängte Laſt, baute man aber kräftige Dampfmaſchinen, ſo fielen ſie ſo umfangreich aus, daß ſie nicht verladen werden konnten, und waren ſo ſchwer, daß mit der gewonnenen Kraft auch die Laſt ſich bedeutend vermehrt hatte. Die Schwierigkeit ſchien anfangs unüberwindbar zu ſein, da die Kraft einer Dampfmaſchine von der in der Zeiteinheit verdampften Waſſermenge abhängt, dieſe aber wieder bedingt wird durch die Größe der Feuerfläche des Keſſels. Erſt ſpäter gelang es, einen Dampfkeſſel zu conſtruiren, der bei mäßigem Umfange eine verhältnißmäßig große Feuerfläche beſaß.

Stehende Dampfmaſchinen haben in der Regel einen gemauerten Herd; da derſelbe bei den Locomotiven wegfallen muß, ſo lag es nahe, ihn durch eine innere Feuerung zu erſetzen, indem man den Herd in das Innere des Keſſels verſetzte.

Eben ſo nothwendig mußte der hohe Schornſtein wegfallen, aber weniger nahe lag das Hülfsmittel, das ihn erſetzen ſollte. Bekanntlich dienen die hohen Schornſteine der Dampfanlagen zur Erzeugung eines lebhaften Luftzuges, durch welchen dem Herde die nöthige Luft zum Brennen herbeigeſchafft wird. Das Feuer in der Locomotive bedarf aber um ſo mehr eines heftigen Luftzuges, als ja der kleine Keſſel eine große Menge Waſſer in verhältnißmäßig kurzer Zeit verdampfen ſoll. Es galt alſo zweitens eine Vorrichtung zu erſinnen, durch welche dieſer Luftzug bewirkt werden konnte.

Auch andere Einrichtungen ſtehender Dampfmaſchinen laſſen ſich auf eine Locomotive nicht übertragen, ſo daß man entweder auf ihren Nutzen geradezu verzichten muß, oder andere Vorkehrungen für den gleichen Zweck zu treffen genöthigt iſt.

So gewährt der Condenſator den Maſchinen, die mit niederem oder mittlerem Druck arbeiten, einen bedeutenden Kraftgewinn, bei Locomotiven aber iſt er gar nicht anzubringen. Der Apparat und das nöthige kalte Waſſer würden ſo viel Raum und Gewicht einnehmen, daß der Gewinn von dem Nachtheil überboten werden würde. Das iſt denn auch der Grund, daß die Locomotiven nur Hochdruckmaſchinen ſein können und daß vor der Herſtellung der Hochdruckmaſchinen alle Verſuche mißlingen mußten, die darauf hinaus gingen, eine fahrbare Dampfmaſchine zu gewinnen. Auch Balancier und Schwungrad konnten von der feſtſtehenden Maſchine nicht auf die Locomotive übergehen, es blieb die Aufgabe zu löſen, ihren Dienſt durch andere Apparate verrichten zu laſſen. Und ſo erleiden denn faſt alle Nebenapparate an der Locomotive eine Abänderung, da ſie ihren Dienſt ſelbſt bei der lebhafteſten Bewegung der Locomotive mit Sicherheit leiſten müſſen.

Galt es, bei der Locomotive die Dampfkraft noch mehr zu entfeſſeln, als es in der feſtſtehenden Maſchine geſchehen war, ſo war es auch nothwendig, ſie

Digitized by Google

noch mehr zu zügeln, und dem Führer der Maſchine die Mittel in die Hand zu geben ſie ſeinem Willen und dem augenblicklichen Bedürfniß zu unterwerfen. Die feſtſtehende Maſchine hat in der Regel einen gleichmäßigen Widerſtand zu überwinden und leiſtet ihre Arbeit meiſt mit derſelben Geſchwindigkeit. Die Locomotive hat hingegen eine ſehr ungleiche und wechſelnde Arbeit zu leiſten. Nicht nur, daß der fortzubewegende Wagenzug heute doppelt ſo ſchwer ſein kann als geſtern, daß er während derſelben Fahrt von Station zu Station ſich ändert, die Laſt kann plötzlich, beim Uebergange aus einer horizontalen Bahnſtrecke in eine Bahnſteigung um mehr als das Doppelte wachſen, und eben ſo ſchnell kann bei einer daran grenzenden abwärts gehenden Steigung der Bahn alle Zugkraft überflüſſig werden, indem der Wagenzug ſich durch ſeine eigene Schwere bewegt. Deshalb muß die Locomotive Vorrichtungen beſitzen, durch welche der Grad der Zugkraft, welchen dieſelbe äußern ſoll, nach dem jedesmaligen Erfordern vermehrt oder vermindert werden kann, durch welche es ſelbſt möglich ſein muß, bei unvorhergeſehenen Vorfällen den Zug ſo ſchnell als irgend möglich zum Stillſtand und zur entgegengeſetzten Bewegung zu bringen.

Daß die Locomotiven dieſen Anforderungen genügen, iſt bekannt, es kommt nun jetzt darauf an, zu zeigen, durch welche Mittel es möglich iſt. Zunächſt wollen wir eine allgemeine Beſchreibung der Locomotiven geben, und dieſer dann ein näheres Eingehen auf die einzelnen Theile und eine Erörterung der Theorie derſelben anſchließen.

I. Ueberſichtliche Beſchreibung der Locomotiven.

Die eigentliche Locomotive, die wir hier getrennt von ihrem Munitionswagen, dem Tender, welcher Brennmaterial und Speiſewaſſer nachfährt, betrachten, beſteht aus drei Theilen: 1) dem Geſtell, 2) dem Dampfkeſſel, 3) der eigentlichen Dampfmaſchine. Der erſte Theil trägt das Uebrige und macht die Fortbewegung möglich, der zweite erzeugt die Kraft zur Bewegung, und der dritte verwirklicht die Bewegung ſelbſt.

Das Geſtell beſteht aus den Rädern mit ihren Axen, dem Rahmen und der Gallerie für den Führer. Es ſind in der Regel drei Paar Räder vorhanden, von denen jedes Paar auf ſeiner Axe vollkommen feſtſitzt, ſo daß ſich Räder und Axe gleichzeitig umdrehen, die Radumfänge haben an der inneren Seite einen hervorſtehenden Rand, den Spurkranz, der die Räder verhindern ſoll, die Schienen zu verlaſſen. Gewöhnlich iſt ein Paar der Räder — meiſt das mittlere Paar — größer als die übrigen, ſie heißen *Treibräder*, weil auf ſie oder ihre Axe zunächſt die Kraft der Dampfmaſchine wirkt und von ihnen aus die Bewegung erſt auf die ganzen Wagen übertragen werden kann. Sie werden umgedreht durch eine Schubſtange, die ihre hin- und hergehende Bewegung von der Kolbenſtange der Dampfcylinder erhält. Entweder greift die Schubſtange eine an der äußeren Fläche der Räder befindliche Kurbelwarze an und dann iſt die Axe dieſer Räder gerade, oder die Schubſtange liegt auf der inneren Seite der Treibräder, und dann greift ſie in ein Knie (eine Verkröpfung) der Treibaxe ein. Ob die eine oder die andere Einrichtung ſtattfindet, hängt davon ab, ob die Dampfcylinder an der äußeren Seite oder im Innern der Locomotive ſich befinden. Die kleineren Räder heißen *Fahr-* oder *Tragräder*.

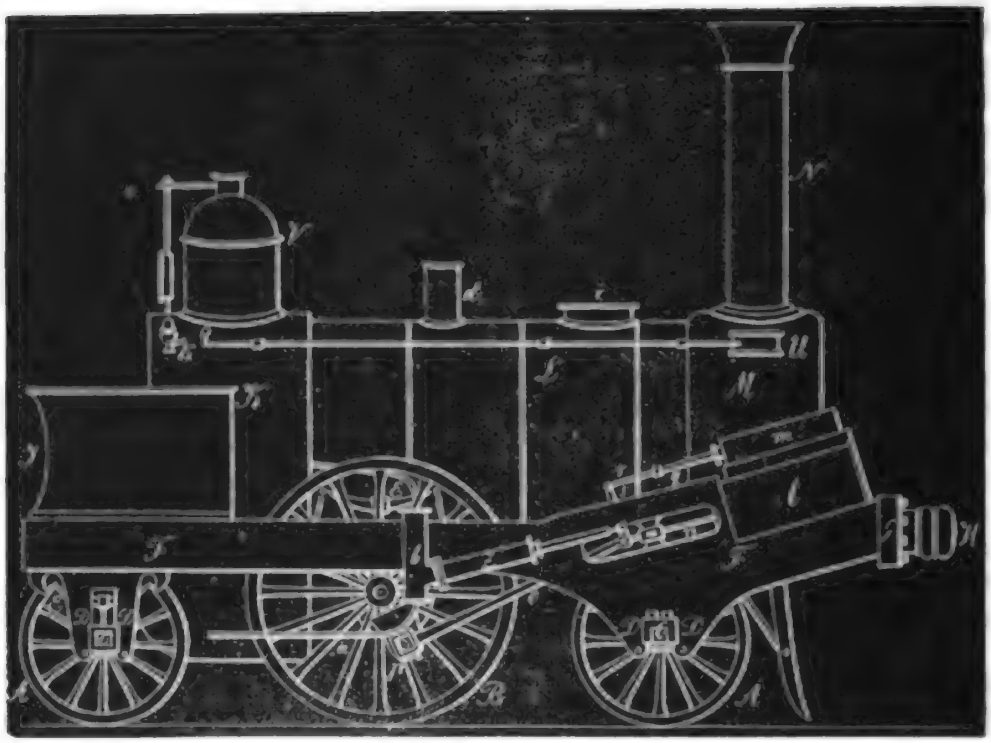
Die Aren der Räder bewegen ſich in meſſingenen Büchſen, auf welchen der Rahmen ruht. Die Büchſen ſind aber nicht unbeweglich mit dem Rahmen verbunden, ſondern die Verbindung iſt mittelſt ſtarker Federn hergeſtellt. Gewöhnlich tragen die Büchſen die Federn über ſich und an ihnen hängt dann der Rahmen. Dieſe Verknüpfung hat den Zweck, daß Stöße, welche die Räder auf den Schienen etwa erleiden, ſich nicht mit gleicher Kraft auf den Rahmen und die mit ihm verbundene Maſchinerie übertragen, daß aber auch umgekehrt Ungleichmäßigkeiten in der Wirkung der Maſchinerie nicht im gleichen Maße auf die Räder übergehen.

Der Rahmen iſt der eigentliche Träger des Keſſels und der Dampfmaſchine, er beſteht in der Regel aus zwei Langſchwellen, die entweder aus Holz beſtehen und mit Eiſenblech bekleidet ſind, oder ganz aus ſtarkem Eiſenblech hergeſtellt ſind, und aus zwei Querſchwellen; letztere dienen zur Verbindung der Langſchwellen und zur Befeſtigung einiger Nebenapparate, z. B. der Haken und Ketten zum Anhängen anderer Wagen, der Puffer und dergleichen. Der Rahmen beſitzt nach oben Träger und Streben zur Befeſtigung des Keſſels, nach unten aber die ſogenannten Arenhalter oder Leitungsplatten, d. h. ſenkrechte Backenſtücke, zwiſchen welchen die Arenbüchſen ſich befinden und vor einer Verrückung in horizontaler Richtung geſichert werden. Gewöhnlich trägt auch der Rahmen noch eine Blechkapſel, welche in bogenförmiger Geſtalt den oberen Theil der Treibräder umgiebt, um jede unvorſichtige Berührung zu verhüten.

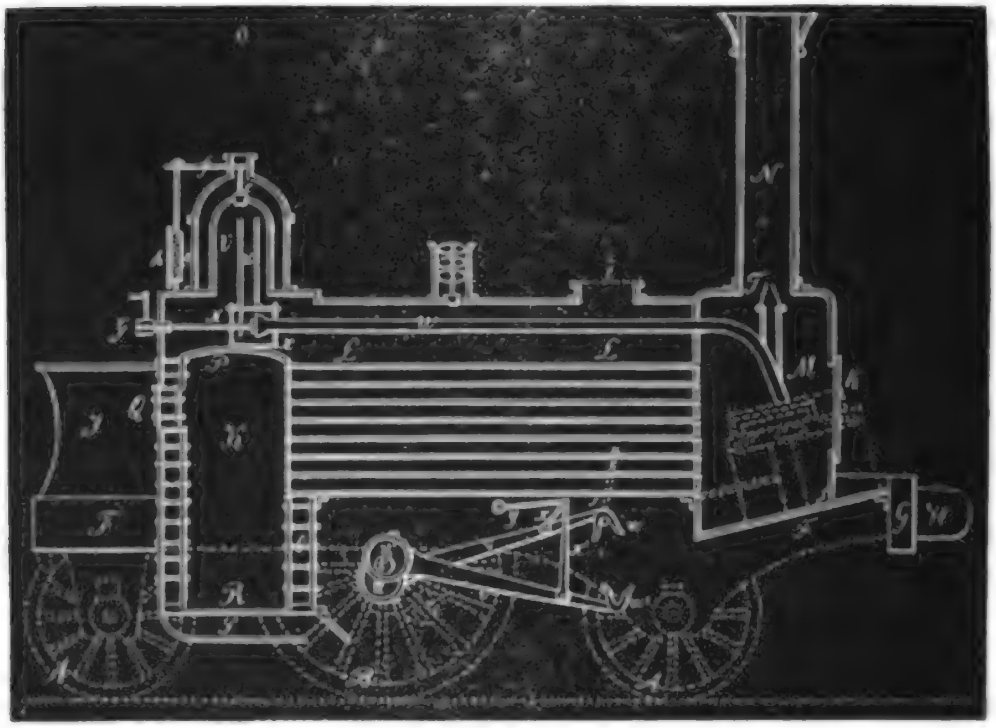
In den beiden umſtehenden Figuren I. und II., von denen die erſte eine Seitenanſicht, die zweite aber einen Längenſchnitt darſtellt, bezeichnen A, A die Fahrräder, B das Treibrad, und C, C die Büchſen für die Aren der Fahrräder, welche ihre Führung durch die Arenhalter D, D erhalten. Auf jenen Büchſen ruhen die Federn E, E, an welchen der Rahmen aufgehängt iſt. Vom Rahmen ſieht man die eine Langſchwelle F, F; die vordere Querſchwelle zeigt einen Querſchnitt G mit dem einen Puffer H, auf der hinteren Querſchwelle ruht die Gallerie J, die dem Führer zum Aufenthalt dient.

Der Dampferzeuger beſteht aus drei Haupttheilen, dem Feuerkaſten K, dem eigentlichen Keſſel L und dem Rauchkaſten M mit dem Schornſtein N. Der eigentliche Keſſel L iſt cylindriſch und von 100 oder mehr horizontalen meſſingenen Heizrohren durchzogen, welche in den beiden Stirnflächen des Keſſels befeſtigt ſind, und die Feuerkammer mit der Rauchkammer verbinden, ſo daß die erhitzten Gaſe, die vom Feuer der Feuerkammer herrühren, durch die Heizröhren in die Rauchkammer entweichen müſſen. Die Feuerkammer K iſt einem umgeſtürzten parallelepipediſchen Kaſten ähnlich, deſſen Oeffnung ſich unten befindet. Nach vorn ſchließt ſich der Feuerkaſten unmittelbar an den cylindriſchen Theil des Keſſels an, doch wird er ſonſt überall von doppelten Wandungen gebildet, deren Zwiſchenraum mit Waſſer gefüllt iſt und deshalb Waſſerkaſten genannt wird. Das Waſſer des Waſſerkaſtens ſteht mit dem übrigen Keſſelwaſſer in unmittelbarer Verbindung, eben ſo ſetzt ſich der Keſſelraum noch über den Waſſerkaſten hin fort, ſo daß noch die oberſte Decke des Feuerkaſtens, die Feuerdecke P vom Waſſer bedeckt bleibt. Der Feſtigkeit wegen befinden ſich zwiſchen den Wänden der Waſſerkammer eine große Zahl von Stehbolzen. In der hinteren Wand des Feuerkaſtens, nach der Gallerie zu, befindet ſich eine Oeffnung Q zum Eintragen des Brennmaterials, die durch eine Heizthür verſchloſſen werden kann. Auf dem Boden des Feuerkaſtens befindet ſich der Roſt R, unter demſelben der Aſchenfall

I.



II.



S, deſſen nach vorn gerichtete Oeffnung mittelſt einer Klappe mehr oder weniger offen gehalten werden kann. Mittelſt eines Geſtänges mit Hebelwerk kann der Führer von der Gallerie aus die Stellung dieſer Klappe reguliren. Die inneren Wände der Feuerkammer bilden die directe oder unmittelbare Feuerfläche, ſie ſind allſeitig vom Waſſer umgeben und nehmen von der Heizluft, die hier auch die größte Hitze beſitzt, zuerſt die Wärme auf, dann gehen die heißen Gaſe durch die Heizröhren, deren Wandungen die indirecte oder mittelbare Heizfläche ausmachen, geben hier einen weiteren Theil ihrer Wärme ab, gelangen aber immer noch ſehr heiß an die Rauchkammer, um durch den Schornſtein zu entweichen. Die indirecte Heizfläche iſt etwa zehnmal ſo groß als die directe, doch iſt die Aufnahme von Wärme im Verhältniß zur Fläche hier etwa dreimal geringer als dort. Hieraus ergiebt ſich, daß das Waſſer im Waſſerkaſten und über der Feuerdecke die größte Temperatur beſitzt und daß an dieſer Stelle auch die lebhafteſte Dampfbildung beſteht, doch rührt das Hauptquantum des erzeugten Dampfes vorzugsweiſe von den Heizröhren her, denen denn auch der verhältnißmäßig kleine Keſſel ſeine große Verdampfungsfähigkeit verdankt. Zur Unterhaltung des Feuers in der Feuerkammer iſt eine große Menge atmoſphäriſcher Luft nöthig. Um dieſe dem Roſte zuzuführen, legt man die Oeffnung des Aſchenfalls nach vorn, ſo daß bei der Bewegung der Locomotive die Luft durch dieſe Oeffnung an den Roſt tritt. Je ſchneller alſo die Locomotive fährt, deſto mehr Luft tritt zum Feuer und deſto lebhafter kann daſſelbe brennen. Dieſes Verhältniß entſpricht aber auch dem Bedürfniß, denn bei ſchneller Fahrt wird mehr Dampf verbraucht, es muß alſo auch die Dampferzeugung lebhafter ſein, als bei langſamer Fahrt. Durch Stellung der Klappe an der Oeffnung des Aſchenfalls kann nun der Führer die Lebhaftigkeit des Luftzutritts in einer Hinſicht reguliren, er kann ſie mindern, wenn ſie zu groß iſt, ja er kann den Luftzutritt ganz verhindern, indem er jene Oeffnung mittelſt der Klappe verſchließt.

Wenn nun auch durch dieſe Einrichtung das zum Brennen nöthige Quantum Luft herbeigebracht wird, ſo reicht ſie doch nicht dazu hin, dieſe Luft durch die vielen engen Röhren hindurch in die Rauchkammer zu treiben. Dieſen Zweck erreicht eine andere ſinnreiche Vorrichtung. Man läßt nämlich den Dampf, nachdem er in den Dampfcylindern gewirkt hat, durch ein vertikal aufwärts gerichtetes Rohr T, das Blaſerohr, in der Rauchkammer ausblaſen. Die Oeffnung des Blaſerohrs iſt etwas eng, ſo daß der Dampf mit großer Geſchwindigkeit ausſtrömen muß. Beim Ausblaſen erpandirt er, und während er mit Heftigkeit den Schornſtein verläßt, reißt er nicht bloß die in der Rauchkammer und im Schornſteine befindliche Luft mit fort, ſondern erzeugt auch abwechſelnd in der Rauchkammer eine Art von Leere, in welche die Feuerluft vom Herde her durch die Heizröhren nachdringt. Zwar ſchafft man ſich dadurch, daß man den Dampf durch das enge Blaſerohr ausſtrömen läßt, einen Widerſtand, der einen Theil der Kraftwirkung verzehrt, doch iſt der Gewinn, den der vergrößerte Luftzug gewährt, bei weitem überwiegend. Auch der Einfluß des Blaſerohrs auf den Luftzug läßt ſich durch verſchiedene Vorkehrungen in die Gewalt des Führers bringen. Die einfachſte Vorkehrung kann durch einen Schieber U (Fig. I.) in der Seitenwand der Rauchkammer gebildet werden, der durch eine Stange vom Führer regiert werden kann. Wird dieſer Schieber mehr oder minder geöffnet, ſo kann die äußere Luft in die Rauchkammer eintreten und der Luftzug durch die Feuerröhren wird ſich mäßigen.

Hängt nun der Luftzug von den beiden Factoren, der Geſchwindigkeit der Locomotivenbewegung und der Thätigkeit des Blaſerohrs, ab, ſo wird folgen, daß er bedeutend vermindert wird, wenn einer dieſer beiden Factoren wegfällt, oder gar beide. Wird der Dampf ganz abgeſperrt, ſo muß natürlich auch die Wirkung des Blaſerohrs aufhören, gleichzeitig wird ſich die Gluth des Feuers mindern; ſteht der Zug ſtill, ſo fällt auch die Zuführung der Luft in Folge der Bewegung weg, und die Dampferzeugung wird noch weiter ſinken. Nach manchen Erfahrungen ſoll die Dampfproduction bei völligem Stillſtande der Locomotive nur $^1/_{10}$ von der bei lebhaftem Gange betragen.

Da die Feuerdecke P noch um einige Zoll vom Waſſer bedeckt ſein muß, ſo bleibt für den Dampfraum im Keſſel wenig übrig. Um dieſen Dampfraum zu vergrößern und dadurch einen bequemen Ort zur Ableitung des Dampfes zu gewinnen, bringt man auf dem Keſſel, gewöhnlich oberhalb des Feuerkaſtens eine Kuppel (Dom) V an. In dem oberen Theile dieſer Kuppel öffnet ſich das Dampfrohr W (Conduct), durch welches der Dampf aus dem Keſſel in den Cylinder geführt wird; hier in der Rauchkammer theilt ſich das Dampfrohr in zwei Arme, die den Dampf nach den beiden Dampfcylindern führen. Die Oeffnung des Dampfrohrs wird deshalb in den höchſten Theil des Dampfraums verlegt, damit ſo wenig als möglich Waſſer mit dem Dampf zugleich fortgeriſſen werde. An der Stelle, an welcher das Dampfrohr aus der verticalen Richtung in die horizontale übergeht, befindet ſich gewöhnlich der Regulator X, eine Vorrichtung, durch welche die Zuſtrömung des Dampfes innerhalb des Maximums vermehrt oder vermindert werden kann. Er beſteht entweder in einer Klappe, einem Schieber, einem Hahn oder einer Drehſcheibe und kann mittelſt einer Kurbel G von der Gallerie aus geſtellt werden. Durch den Regulator wird der Dampfdruck auf die Kolben der Dampfcylinder nicht geändert, wohl aber die Geſchwindigkeit der Dampfzuſtrömung und damit die Geſchwindigkeit der Bewegung. Mittelſt des Regulators wird alſo die Geſchwindigkeit des Zuges geregelt und geleitet werden können, nicht aber die Zugkraft der Maſchine. Soll der Zug ſich langſamer bewegen oder gar zum Stillſtand kommen, ſo wird man mittelſt des Regulators den Dampfzutritt zu den Dampfcylindern mäßigen oder ganz unterbrechen. Bei gleichmäßiger Feuerung produciren die Dampfkeſſel in gleichen Zeiten gleichviel Dampf, wird nun durch eine gewiſſe Stellung des Regulators der Dampfabfluß vermindert, ſo muß zugleich darauf Bedacht genommen werden, auch die Dampferzeugung zu vermindern, weil ſonſt die Dampfmenge und dadurch die Dampfſpannung im Keſſel zu ſehr ſteigen könnte. Zum Theil bringt der verminderte Dampfabfluß ſchon von ſelbſt auch eine Verminderung der Dampfproduction hervor; denn bei der verminderten Geſchwindigkeit der Locomotive iſt auch der Luftzug verringert, und das ſchwächer angefachte Feuer läßt alſobald auch weniger Dampf entſtehen. Doch hat der Führer zu gleichem Zweck noch andere Mittel in der Hand, er kann den Luftzug noch weiter mäßigen, indem er den Schieber U öffnet, oder er kann friſches Waſſer in den Keſſel laſſen, wovon weiter unten die Rede ſein wird. Meiſt befindet ſich auch an den Locomotiven eine Röhre, welche den überſchüſſigen Dampf in den Waſſerraum des Tenders leiten kann, woſelbſt er zum Vorwärmen des Waſſers dient. Ein im Bereiche der Gallerie befindlicher Hahn kann die Verbindung herſtellen oder unterbrechen.

Von den Nebenapparaten des Dampfkeſſels ſind zunächſt die beiden Waſſer-

pumpen zu nennen, die zur Seite des Keſſels parallel mit den Dampfcylindern liegen, und deren Kolben unmittelbar von der Kolbenſtange der Dampfcylinder bewegt wird. a (Fig. I.) iſt das Zuleitungsrohr, welches vom Waſſerkaſten des Tenders herkommt, b iſt die Büchſe für die Saug- und Druckventile, von wo ein Druckrohr das Waſſer in den Keſſel führt. Jede Pumpe kann allein mehr Waſſer in den Keſſel liefern, als fortwährend verdampft, und es würde bald der Keſſel überfüllt werden, wenn beide Pumpen fortwährend im Gange blieben, deshalb müſſen ſich die Pumpen abſtellen laſſen, ſo daß ihre Kolben leer gehen; ein Hahn kann auch die Saugröhre a abſperren, und ein anderer an der Druckröhre, der ſich nach außen öffnet, kann zur Controle für die Thätigkeit der Waſſerpumpen dienen. Der Waſſerzufluß zum Keſſel findet alſo nicht ununterbrochen ſtatt, ſondern wird nur von Zeit zu Zeit hergeſtellt, bildet aber in der Hand des Führers ein Mittel, die Dampferzeugung zu mäßigen.

Denn ſetzt man plötzlich beide Pumpen in Thätigkeit, ſo wird ein großer Theil der gleichzeitig erzeugten Wärme dazu verwandt, um das neu eintretende Waſſer zur Temperatur des Keſſelwaſſers zu erheben, geht alſo für die Dampfbildung verloren. Da alſo das Einführen des friſchen Waſſers in den Keſſel, eben ſo wie das Aufſchütten von friſchem Brennmaterial auf den Herd die Dampferzeugung mäßigen, ſo wird man beim gleichmäßigen Gange der Locomotive nicht beides zugleich vornehmen, ſondern mit beidem abwechſeln.

Da der Tender mit der Locomotive nicht unbeweglich verbunden iſt, ſo muß die Saugröhre a auch ein bewegliches Zwiſchenſtück haben, welches entweder aus einem elaſtiſchen Schlauche oder einem verſchiebbaren Röhrenſtück beſteht.

Wie jeder feſtſtehende Dampfkeſſel hat auch der Locomotivenkeſſel zwei Sicherheitsventile, doch können dieſelben hier nicht durch Gewichte belaſtet werden, ſondern ſie werden durch geſpannte Federn angedrückt, deren Spannung vorher regulirt iſt und von Zeit zu Zeit von neuem geprüft wird. Das eine Ventil d, gewöhnlich außer dem Bereich des Führers, iſt mit einer conſtanten Kraft belaſtet, die der Maximalſpannung des Dampfes entſpricht. Das andere Ventil e befindet ſich in der Nähe der Gallerie, meiſt auf dem Dome V, und wird durch einen einarmigen Hebel f niedergehalten, der durch eine Spiralfeder geſpannt wird. Dieſe Feder iſt in einem Cylinder g eingeſchloſſen. Dieſes Sicherheitsventil dient zugleich als Manometer, da die gewöhnlichen Queckſilbermanometer ſtehender Dampfmaſchinen hier nicht anwendbar ſind. Durch eine Stellſchraube läßt ſich die Spannung der in g eingeſchloſſenen Spiralfeder verändern und an einer, vorher durch Verſuche feſtgeſtellten Scala h läßt ſich die Kraft der jedesmaligen Anſpannung der Feder ableſen. Will man nun die Spannung des Dampfes im Keſſel kennen lernen, ſo vermindere man mit Hülfe der Stellſchraube die Spannung der Spiralfeder ſo lange, bis das Ventil e ſich hebt und Dampf entweicht; die Kraft der letzten Federſpannung wird dann mit Hülfe des Verhältniſſes der Hebelärme f und der Ventilfläche e die Dampfſpannung erkennen laſſen.

Ein Waſſerſtandszeiger und einige Probirhähne in der Nähe des Führers haben dieſelbe Einrichtung als bei ſtehenden Dampfkeſſeln, auch iſt zum Behufe der Keſſelreinigung ein Fahrloch i vorhanden. Eine Thür k befindet ſich auch an der anderen Seite der Rauchkammer, deren innerer Raum dadurch zugänglich wird.

Digitized by Google

Als eigenthümliches Werkzeug der Locomotiven-Keſſel iſt noch die Signalpfeife k anzuführen. Sie beſteht aus einem kleinen Dampfreſervoir, welches nach oben in einem ringförmigen Spalt geöffnet iſt. Dieſem Spalt gegenüber in kurzer Entfernung befindet ſich der Rand einer kleinen Glocke, welche den bekannten ſchrillenden Ton hervorbringt, wenn nach Oeffnung eines Hahnes der Dampf aus dem ringförmigen Spalt hervordringt.

Zum Schutz gegen Abkühlung iſt der cylindriſche Theil des Keſſels mit einem Mantel von gefalzten Brettern umgeben, und die unter den gewöhnlichen Keſſel herabragenden Theile der Feuer- und Rauchkammer ſind der Feſtigkeit wegen noch durch ſtarke Eiſenſtangen mit einander verbunden.

Der Bewegungsapparat der Locomotive unterſcheidet ſich nicht ſo ſehr von dem gewöhnlicher Hochdruckmaſchinen. Nur ſind zwei Cylinder l vorhanden, die in der Regel vorn zur Seite liegen, entweder innerhalb der Rauchkammer, wo ſie am beſten gegen Abkühlung geſchützt ſind, oder außerhalb derſelben, wo ſie dann noch beſonders durch einen Mantel von Holz oder Filz geſchützt werden müſſen. Die eine Seite jedes Cylinders, gewöhnlich die obere, oft auch die nach innen gekehrte, iſt zu einer ebenen Platte abgeſchliffen, in welcher die Oeffnungen für den Ein- und Austritt des Dampfes ſich befinden. An dieſe Platte ſchließt ſich dann die Dampfbüchſe m an, in welche je ein Arm des Dampfrohrs einmündet, und in welcher ſich der Dampfſchieber befindet. Die Kolbenſtange n iſt mit der Kurbelſtange oder Treibſtange o eingelenkt; dieſe umfaßt mit ihrem hinteren Ende p eine Kurbelwarze des Treibrades oder greift bei innerer Lage der Dampfcylinder eine Verkröpfung der Treibaxe an. Mittelſt der Treibſtange wird nun durch die hin und hergehende Bewegung des Kolbens die rotirende Bewegung der Treibräder hervorgebracht. Bekanntlich nennt man die beiden Lagen der Treibſtange, in welchen ſie mit der Kolbenſtange und einem Radradius eine gerade Linie bildet, die todten Punkte, weil die Kraft der Kurbelſtange an dieſer Stelle null iſt, und weil die rotirende Bewegung hier leicht in die entgegengeſetzte übergehen kann, wenn nicht die Trägheit der bewegten Maſchine ſie über dieſe Punkte hinausbringt. Bei feſtſtehenden Maſchinen dient hierzu das Schwungrad, bei Locomotiven könnte während der Bewegung die Trägheit des geſpannten Wagenzuges dazu dienen, doch fiele dieſer Einfluß im Anfange der Bewegung weg, ſo daß es mit beſonderen Schwierigkeiten verbunden wäre, den Wagenzug in beſtimmter Richtung in Bewegung zu ſetzen. Deshalb muß die Locomotive zwei Dampfcylinder beſitzen, deren zugehörige Kurbelradien einen rechten Winkel mit einander bilden, ſo daß die eine Kurbelſtange mit ihrem Radius einen rechten Winkel bildet, alſo im Maximum ihrer Wirkſamkeit ſteht, wenn die andere im todten Punkte ſich befindet, alſo gar nicht wirken kann. Ferner giebt die Anwendung zweier Dampfcylinder mit dieſer Stellung der Kurbelradien den Gewinn, daß die Geſammtkraft beider Kurbeln in der Zeit einer Umdrehung ſich zwiſchen weit engeren Grenzen abändert, als es bei nur einem Cylinder der Fall wäre.

Der in der Dampfbüchſe m befindliche Dampfſchieber bewirkt die Steuerung ganz ſo, wie bei ſtationären Maſchinen, er wird bewegt durch eine Schieberſtange q, welche gewöhnlich durch eine Lenkſtange r und einen kleinen Hebel s mit dem Steuerexcentrik in Verbindung ſteht, das auf der Treibaxe ſitzt, von welcher es ſeine Bewegung erhält. So bewirkt auch hier die Kolbenbewegung ihre eigene

Steuerung. Der Locomotive eigenthümlich ſind aber die Umſteuerungsvorrichtungen, von denen wir die eine, welche in Fig. II. S. 586 angedeutet iſt, hier erläutern wollen. Da das Intereſſe eintreten kann, den Triebrädern die umgekehrte Drehbewegung zu ertheilen, ſo muß die Locomotive Vorrichtungen beſitzen, durch welche die Bewegung der Triebräder, ſelbſt beim ſchnellſten Gange des Wagenzuges, in die entgegengeſetzte verkehrt werden kann. Am einfachſten kann dieſer Zweck erreicht werden, wenn man auf der Triebare t, für jeden Dampfcylinder zwei Excentriken u und u' in entgegengeſetzter Lage anbringt. Die beiden Excentrikſtangen v und v' tragen an ihren Endpunkten die Gabeln oder Klauen w und w', mit welchen ſie den unteren Knopf des Hebels s ergreifen können. Die Excentrikſtangen v und v' ſind mittelſt der Stangen x und x' an den einen Arm eines Winkelhebels y angehängt; der andere Arm iſt in der Zeichnung nicht angedeutet, kann aber durch eine Stange von der Gallerie her bewegt werden, ſo daß ſich Arm y zu heben und zu ſenken vermag. Dadurch hat der Führer es in ſeiner Gewalt, den Knopf des Hebels s bald durch die eine oder die andere der beiden Klauen w, w' angreifen zu laſſen; der Hebel s aber ſteht, wie oben angeführt iſt, mit der Schieberſtange q in Verbindung. Es ſpringt in die Augen, daß die entgegengeſetzt liegenden Excentriken einer entgegengeſetzten Bewegung der Schieber entſprechen und daß durch plötzliche Abwechſelung der Klauen, die Schieberbewegung und damit auch die Kolbenbewegung in die entgegengeſetzte übergeht. Natürlich kann dieſer Wechſel nicht in jedem Momente des Kolbenſpiels vorgenommen werden, ſondern nur in dem Augenblicke, in welchem die beiden Klauen w, w' ſenkrecht über einander ſtehen. Dieſer Stellung entſpricht die mittlere Schieberſtellung und eine Endſtellung des Kolbens. Nehmen wir an, der Kolben befände ſich im Augenblicke des Klauenwechſels am hinteren Ende des Cylinders, ſo daß eigentlich der vordere Cylinderraum jetzt nach dem Blaſerohre hin geöffnet, und der hintere mit dem Dampfkeſſel in Verbindung geſetzt werden ſollte. Da der Schieber ſeine Bewegung wechſelt, ſo wird umgekehrt der mit Dampf gefüllte vordere Raum des Cylinders wieder mit dem Dampfkeſſel in Verbindung geſetzt; aber die Treibräder fahren zunächſt fort, ſich in der erſten Drehrichtung zu drehen, und nöthigen auch den Kolben, ſich gegen den mit Dampf gefüllten Cylinderraum zu bewegen. Der Dampf ſtemmt ſich indeſſen mit der ganzen Spannung, die er im Keſſel beſitzt, gegen den Kolben; es fragt ſich nun, was das Reſultat dieſes Streites der Kräfte iſt? Die Trägheit des geſammten Wagenzuges drängt auch die Locomotive vorwärts und nöthigt die Treibräder ſich in der urſprünglichen Richtung zu drehen. Wollen ſich die Treibräder trotz der vorwärtsgehenden Bewegung des Zuges entgegengeſetzt drehen, ſo muß die Reibung überwunden werden, welche dann zwiſchen ihrem Umfange und den Eiſenbahnſchienen ſich bildet; es kommt nun darauf an, ob das Moment des Dampfgegendrucks größer iſt als das Moment der Reibung oder nicht. Iſt der Dampfdruck nicht größer als die Reibung, ſo kann keine Umkehrung in der Bewegung der Treibräder eintreten, die Dampfkolben werden aber, ſo lange dieſe Klauenſtellung bleibt, ſich ſtets gegen den Dampf bewegen müſſen, und der geſammte Dampfdruck wird dann eine Kraft, welche die Bewegung des ganzen Zuges verzögert. Iſt aber der Dampfdruck größer als die Reibung, ſo hat derſelbe zuerſt das geringe Trägheitsmoment der Treibräder mit ihrer Axe zu vernichten, und dann wird eine Umkehr ihrer Bewegung eintreten, ſo daß dadurch die Schieberbewegung wieder mit der Kolbenbewegung in

Digitized by Google

Uebereinſtimmung tritt, obwohl ſich die Treibräder rückwärts bewegen. Die Reibung dieſer Räder auf den Schienen iſt dann die den Zug verzögernde Kraft.

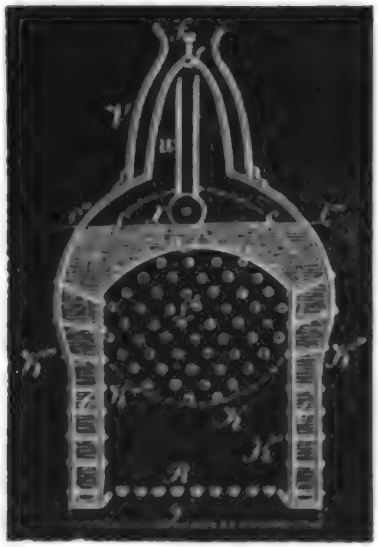
Wegen dieſes bedeutenden Widerſtreits der Kräfte wird ſolche plötzliche Umkehr in der Steuerung nicht ohne eine große Erſchütterung der Maſchine vor ſich gehen, und man wird ſie beim vollen Lauf der Maſchine nur im Nothfalle anwenden. Giebt die gänzliche Abſpannung des Dampfes noch keine genügende Verzögerung im Laufe des Zuges, ſo wendet man die Bremſen an, welche an den Laufrädern einzelner Eiſenbahnwagen angebracht ſind, und die Umdrehung derſelben hemmen oder ganz aufheben. Erſt wenn die Wirkung der Bremſen noch nicht ausreichen ſollte, oder ihr Anziehen nicht ſchnell genug erfolgen kann, wird man von dem ſogenannten Gegendampf Gebrauch machen.

Der Dampf, welcher aus dem Keſſel in die Cylinder kommt, iſt nicht ganz waſſerfrei; je lebhafter die Dampfbildung erfolgt, deſto mehr kleine Waſſerkügelchen reißen ſich mit dem Dampfe mechaniſch vom Waſſer los und kommen ſo in die Cylinder. Oft beträgt das auf dieſe Weiſe verloren gehende Waſſer 25 Proc. Um dieſes Waſſer aus den Dampfcylindern zu entfernen, befinden ſich am Boden derſelben Hähne, durch die es abgelaſſen werden kann.

Alle Theile des Bewegungsapparates und des Geſtelles, welche mit ihren Flächen ſich an einander bewegen, müſſen mit angemeſſenen Schmiervorrichtungen verſehen ſein, um die Reibung und die Erhitzung der reibenden Flächen zu mindern.

Von den beiden beiſtehenden Figuren bezeichnet Fig. I. einen Querſchnitt durch den Feuerkaſten, Fig. II. einen Querſchnitt durch den Rauchkaſten. In

I.



II.

Fig. I. iſt K die eigentliche Feuerkammer, K′ der innere Feuerkaſten, K″ der äußere, P die Feuerdecke. R iſt der Roſt, unterhalb deſſelben iſt der Aſchenfall S. V iſt der Dom mit dem Sicherheitsventil, W der Anfang des Dampfrohres, X ein Querſchnitt des Regulators. Die Wände K′, K″ des Waſſerkaſtens O ſind durch kupferne Stehbolzen mit einander verbunden, weil ſonſt die geraden Wände dem

Dampfdruck gegenüber nicht Stabilität genug haben würden. Der punktirte Kreis L giebt Lage und Größe des Keſſelcylinders an, die kleinen Kreiſe L' ſind Querſchnitte der Feuerröhren und die Linie L'' L'' deutet den gewöhnlichen Waſſerſtand an. In vorſtehender Fig. II. behalte L und L' die eben angegebenen Bedeutungen, N iſt der Schornſtein. Die Dampfröhre ſpaltet ſich hier in die beiden Arme W' und W'', welche zu den Dampfbüchſen m, m führen, m' iſt der Dampfſchieber, l der Cylinder, aus deſſen oberem Theile die beiden Arme F' und F'' des Blaſerohrs ausgehen.

Die Thätigkeit der Locomotive beſteht nun darin, daß durch den abwechſelnden Druck des Dampfes auf die vordere und hintere Fläche des Kolbens dieſer zu einer hin und hergehenden Bewegung veranlaßt wird, und daß dieſe Bewegung durch die Treibſtange die rotirende Bewegung der Treibräder hervorbringt. Wenn nun die Eiſenbahnſchienen und die Ränder der Treibräder abſolut glatt wären, ſo würden die Räder der Locomotive auch nur rotiren können, ſie vermöchten nicht einmal die Locomotive von der Stelle zu ſchaffen, viel weniger einen daran gehängten Zug. Die natürliche Rauheit der Eiſenbahnſchienen bildet aber ein Hinderniß für die blos rotirende Bewegung der Treibräder, und während nun dieſe Treibräder an dem Punkte ihrer Peripherie, mit welchem ſie die Bahnſchienen berühren, feſtgehalten werden, bringt das Beſtreben zu rotiren eine fortſchreitende Bewegung des Mittelpunktes hervor. Nur in dieſer Weiſe kann die Locomotive eine Zugkraft ausüben, und wenn wirkliche Bewegung eintreten ſoll, muß dieſe Zugkraft noch größer ſein als die Summe der Hinderniſſe, die dem geſammten Zuge ſich entgegen ſetzen. Dieſe Hinderniſſe beſtehen vorzüglich in der Zapfenreibung ſämmtlicher Eiſenbahnräder und zu einem ſehr kleinen Theile aus der rollenden Reibung auf den Schienen. Für den bewegten Zug kommt noch der Luftwiderſtand hinzu, den die ruhige oder etwa durch Wind bewegte Luft dem Zuge entgegenſetzt. Dieſer Luftwiderſtand hängt weſentlich von der Geſchwindigkeit des Zuges ab, jene Reibung aber iſt einem beſtimmten Bruchtheile vom Gewichte ſämmtlicher Wagen mit ihrer Laſt gleich. Geht die Bewegung noch eine etwas geneigte Bahn aufwärts, ſo kommt zu den Widerſtänden ein dem Neigungsverhältniß entſprechender Theil vom Gewicht des Geſammtzuges hinzu. Der Geſammtwiderſtand muß nun kleiner ſein als die eigentliche Zugkraft der Locomotive, er muß aber auch kleiner ſein als die gleitende Reibung zwiſchen der Peripherie der Treibräder und den Eiſenbahnſchienen, denn wäre er größer, ſo würde die Locomotive nicht von der Stelle kommen, die Treibräder aber würden ſich dennoch drehen, wäre aber der Dampfdruck in den Cylindern geringer als jener Geſammtwiderſtand und auch als jene gleitende Reibung, ſo würde keinerlei Bewegung entſtehen, weder eine fortſchreitende der Locomotive, noch eine blos rotirende der Treibräder. Die Thätigkeit der Locomotive hängt alſo davon ab, 1) daß die Zugkraft groß ſei, 2) daß die gleitende Reibung der Treibräder auf den Schienen noch größer ſei, und 3) daß der Geſammtwiderſtand des Zuges gegen die Bewegung ſo gering als möglich ſei.

Die Zugkraft iſt der Dampfdruck auf die beiden Kolbenflächen; dieſer iſt um ſo größer, je ſtärker der Dampf geſpannt iſt, und je größer der Querſchnitt des Kolbens iſt, man kann alſo die Zugkraft ſteigern, wenn man dieſe beiden Factoren ſteigert, d. h. indem man ſtark geſpannten Dampf und ſehr weite Cylinder anwendet. Die gleitende Reibung der Treibräder iſt gleich einem beſtimmten (im

Mittel etwa dem ſechſten) Theil ihrer Belaſtung; da ſie größer als die Zugkraft ſein ſoll, ſo muß ſie alſo auch gleichzeitig mit ihr wachſen, was man dadurch erhält, daß man den größten Theil vom Gewicht der Locomotive auf die Treibräder wirken läßt, und daß man dieſes Gewicht ſelbſt ſteigert. Läßt ſich das Hauptgewicht der Locomotive nicht auf die zwei Treibräder bringen, ſo macht man ein Paar der Fahrräder gleich hoch mit ihnen und verkoppelt beide Räderpaare. Den Bewegungswiderſtand kann man bei einer gegebenen fortzuſchaffenden Laſt dadurch gering halten, daß man die Schmierbüchſen für die Arenzapfen ſo vollkommen als möglich conſtruirt und die Bahn ſo horizontal als möglich anlegt. Die Schnelligkeit der Bewegung hängt von der Menge des erzeugten Dampfes ab, weil bei ſchneller Bewegung die Cylinder ſich häufiger füllen müſſen. Da aber dieſelbe Gewichtsmenge Dampf bei ſtarker Spannung weniger Raum einnimmt, als bei ſchwacher, ſo folgt daraus, daß, wenn der Dampf mit ſtarker Spannung auf den Kolben wirken muß, d. h. wenn eine große Laſt fortgeſchafft werden ſoll, die Bewegung nicht ſo ſchnell vor ſich gehen kann, als im entgegengeſetzten Falle, daß alſo die Laſt nur auf Koſten der Geſchwindigkeit geſteigert werden kann, wie auch umgekehrt große Geſchwindigkeiten nur bei mäßiger Belaſtung möglich ſind. Es liegt nahe, das Verhältniß zu erkennen, in welchem die Höhe der Treibräder zur Geſchwindigkeit der Bewegung ſteht; hohe Treibräder werden einer ſchnellen Bewegung, niedrige einer ſtarken Zugkraft entſprechen.

So oft zuletzt vom Dampfdruck die Rede geweſen iſt, iſt immer nur der Dampfdruck gegen die Dampfkolben gemeint, der dann unterſchieden werden muß von dem Dampfdruck im Keſſel. Jener kann nie größer ſein als dieſer, wohl aber bedeutend kleiner. Der Dampfdruck im Cylinder richtet ſich ſtets nach der nöthigen Zugkraft; ſind wenig Widerſtände zu überwinden, ſo dehnt ſich der Dampf, ſobald er in die Cylinder kommt, ſchnell ſo weit aus, daß er eben den zu überwindenden Widerſtänden entſpricht; hingegen muß er in größerer Spannung verbleiben, wenn eine größere Laſt fortzuſchaffen iſt. Da nun daſſelbe Quantum ausgedehnten Dampfes die Cylinder öfter zu füllen vermag, als im geſpannteren Zuſtande, ſo folgt, daß die Locomotive geringere Laſten viel ſchneller zu bewegen vermag als größere, und daß die Geſchwindigkeit eines Wagenzuges alſobald gemäßigt wird, wenn der Zug aus der horizontalen Bahnſtrecke in eine aufſteigende übergeht. Man kann alſo mit derſelben Dampfſpannung im Keſſel ſowohl ſchwerere als leichtere Laſten fortſchaffen, aber die erſten langſamer, die letzten ſchneller, denn die Ausdehnung des dichten Dampfes zu einem größeren Volumen geht erſt in den Cylindern vor ſich.

Es verſteht ſich von ſelbſt, daß die Steigerung der Geſchwindigkeit oder der Zugfähigkeit einer beſtimmten Locomotive ihre Grenzen hat, die in den Feſtigkeits- und Größenverhältniſſen einzelner Theile bedingt ſind, daß alſo beſondere Anforderungen auch beſondere Verhältniſſe nöthig machen. Von der mittleren Art der Locomotiven, die eine mäßige Laſt mit mäßiger Geſchwindigkeit fortziehen, läßt ſich eine Steigerung der Anforderungen nach zwei Seiten hin denken.

Man kann einmal Locomotiven für große Geſchwindigkeiten verlangen, dann ſolche für große Laſten. Wenn auch beide Locomotiven Keſſel mit beſonders großer Verdampfungskraft verlangen, alſo große Keſſel mit vielen Heizröhren und großer Heizkammer, ſo haben ſie doch ſonſt verſchiedene Einrichtungen. Die Locomotiven für große Geſchwindigkeit haben große Treibräder, mäßige Cylinder, mäßige Be-

laſtung der Treibräder; hingegen Locomotiven für große Laſten haben weite Cylinder, mäßig hohe Treibräder, aber es ſind noch ein Paar Fahrräder oder beide Paare von gleicher Höhe mit den Treibrädern und mit ihnen verkoppelt, ſo daß ſich das ganze Gewicht der Locomotive der gleitenden Drehung der Räder entgegengeſetzt, oft ſogar ſind die Räder des Tenders mit in dieſe Conſtruction hineingezogen.

Zwiſchen dieſen beiden extremen Arten der Locomotiven liegen nun einige Uebergangsformen, ſo daß wir im Allgemeinen folgende fünf Arten unterſcheiden können: 1) Eillocomotiven, 2) Paſſagierlocomotiven, 3) Locomotiven für gemiſchte Züge, 4) Frachtlocomotiven und 5) Berglocomotiven.

Bevor wir nun zu der ſpecielleren Beſchreibung der einzelnen Theile der Locomotive übergehen, und ihre Verhältniſſe und ihre Thätigkeit einer ſtrengeren Rechnung unterwerfen, wird es zur Veranſchaulichung des Obigen dienen, wenn wir über daſſelbe einige allgemeine Maßverhältniſſe angeben und einige überſchlägliche elementare Rechnungen anſtellen.

Bei einer mäßigen Locomotive hat der cylindriſche Theil des Keſſels etwa 7′ Länge, 3′ Weite und wird von etwa 120 Heizröhren zu 2″ Weite durchzogen; er faßt mit dem Waſſerkaſten zuſammen etwa 40 Kubikfuß Waſſer. Der Roſt im Feuerkaſten hat wohl 10 bis 12 □′ Fläche bei 3 □′ lichter Oeffnung; er wird $1^1/_2$ bis 2′ hoch mit Koks bedeckt. Die directe Feuerfläche beträgt etwa 35 □′, die indirecte aber 350 □′; ſetzt man 3 □′ der letzteren gleich 1 □′ der erſteren, ſo iſt die geſammte reducirte Feuerfläche gleich 150 □′. Pambour ſetzt die Verdampfungsfähigkeit von 1 □′ reducirter Feuerfläche bei 30′ Geſchwindigkeit (c. 20 engl. Meilen in der Stunde) gleich 0,4 Pfund Waſſer; 150 □′ liefern alſo 60 Pfd. Dampf in der Minute. Auf 5 Pfund Dampf rechnet man 1 Pfd. Koks; hier wären alſo 12 Pfd. in jeder Minute nöthig. Im Anfange ſchüttet man etwa 480 Pfd. Koks auf, giebt dann nach etwa 10 Minuten 90 bis 100 Pfd. nach und läßt zuletzt nach je 7 Minuten etwa 30 Pfd. folgen. Zum Verbrennen von 1 Pfd. Koks gebraucht man etwa 240 Cubikfuß Luft; werden nun 12 Pfd. Koks in der Minute verbrannt, alſo $^1/_5$ Pfd. in der Secunde, ſo iſt in jeder Secunde die Zuführung von 48 Cubikf. Luft nöthig. Da nun die lichte Weite des Roſtes zu 3 □′ angenommen iſt, ſo muß die Luft mit mindeſtens 16′ Geſchwindigkeit durch den Roſt ziehen; dieſe Geſchwindigkeit iſt alſo immer noch weit geringer als die Geſchwindigkeit der Locomotive, die zu 30′ oben angenommen wurde; daher liefert dieſe Bewegung die nöthige Luftmenge vollſtändig herbei. Nimmt man nun an, daß 1 Pfd. Koks etwa 6400 w (Wärmeeinheiten) erzeugen ſo nehmen davon die 5 Pfd. Dampf $5 \times 640 = 3200$ w, alſo etwa nur die Hälfte in Anſpruch, laſſen wir von den übrigen 3200 w etwa 300 w ſonſt verloren gehen, ſo bleiben 2900 w für die zur Verbrennung verwandten 240 Cubikf. Luft übrig. Dieſe wiegen etwa 20 Pfd.; da nun 4 Pfd. Luft durch 1 w um 1° erwärmt werden, ſo folgt $\frac{2900}{5} = 580°$ für die Temperatur der in die Rauchkammer eintretenden Luft. Bei dieſer Temperatur iſt die Luft etwa auf das 3fache Volumen ausgedehnt; die in der Secunde verbrauchten 48 Kubikf. haben alſo dann einen Umfang von 144 Kubikf. Der Querſchnitt von 120 Röhren zu 2″ Weite iſt etwa $2^2/_3$ □′, folglich hat die heiße Luft, wenn ſie aus den Heizröhren

austritt, eine Geschwindigkeit von $\frac{144}{2^2/_3} = 54'$. Diese Geschwindigkeit muß beim Eintritt der Luft aus der Feuerkammer in die Feuerröhren noch größer sein, weil hier die Luft noch heißer und ausgedehnter ist. Da die indirecte Heizfläche 10 Mal größer ist als die directe, ihr Heizvermögen aber 3 Mal geringer, so geht $3^1/_3$ Mal mehr Wärme durch die Wände der Heizröhren in das Wasser als durch die Wände der Feuerkammer; von den 3200 w, die zum Wasser übergehen, kommen also $\frac{3^1/_3}{4^1/_3} \cdot 3200\ w = 2460\ w$ auf die Heizröhren. Die 20 Pfd. Luft enthalten also beim Eintritt in die Heizröhren noch $2900\ w + 2460\ w = 5360\ w$, haben mithin eine Temperatur von $\frac{5360}{5} = 1070^0$, also ein Volumen, das fast das 5fache des ursprünglichen ist.

Die Geschwindigkeit der Luft beim Eintritt in die Heizröhren ist somit $= \frac{5 \cdot 48}{2^2/_3} = 90'$.

Diese Steigerung der mit 16′ Geschwindigkeit in den Rost eintretenden Luft zu 90′ muß nun durch das Blaserohr geschehen, wozu noch kommt, daß die Reibungswiderstände an den Wandungen der Feuerröhren auch überwunden werden müssen. Die Luft, welche nun mit 54′ Geschwindigkeit in die Rauchkammer eindringt, muß ihre Geschwindigkeit abermals steigern, da der Schornstein etwa nur 1 □′ Querschnitt hat; achten wir auf die im Schornstein eintretende Abkühlung nicht, so muß die Geschwindigkeit der Luft im Schornstein $= 54 \cdot 2^2/_3 = 144'$ betragen.

Von dem Wasser, das verbraucht wird, gehen gewöhnlich 75 Proc. als Dampf fort und 25 Proc. werden als Wasser mechanisch mit fortgerissen. Werden nun 60 Pfd. Dampf in der Minute verbraucht, so gehen noch 20 Pfd. Wasser mit fort, der Wasserverbrauch beträgt also in der Minute 80 Pfd. oder etwa $1^1/_5$ Cubikfuß. Beim Abfahren steht der Wasserspiegel etwa 6″ über der Feuerdecke, die Fläche des Wasserspiegels beträgt dann etwa 28 □′, folglich fällt derselbe in jeder Minute um $\frac{1^1/_5}{28} = \frac{3}{70}$ Fuß oder etwa um $^1/_2$ Zoll. Es kann also die Dampfbildung recht gut 6 Minuten fortgehen, ohne daß neues Wasser in den Kessel gelassen wird, es würde der Wasserspiegel immer noch 3″ über der Feuerdecke stehen. Um den Einfluß zu erkennen, den der Zufluß von neuem Wasser auf die Dampfbildung hat, wollen wir zunächst annehmen, das Kesselwasser habe 150° und das Speisewasser habe 50° Temperatur. Kommt kein Wasser in den Kessel, so können in der Minute von dem 150° heißen Wasser — wenn wir die obigen Zahlenwerthe festhalten — $\frac{3200 \cdot 12}{640 - 150} = 78$ Pfund Dampf entstehen. Läßt man aber in der Minute 80 Pfd. Wasser eintreten, so nehmen diese $80 \times 100\ w = 8000\ w$ in Anspruch, um bis 150° erwärmt zu werden, es bleiben von den $12 \times 3200\ w = 38400\ w$, die von der Feuerung aus

in den Kessel bringen, nur noch 30400 w übrig, und diese lassen $\frac{30400}{640 - 150}$ = 62 Pfd. Dampf entstehen. Nun soll aber jede Pumpe so eingerichtet sein, daß sie allein mehr als den vollen Bedarf an Wasser liefern kann; nehmen wir nun an, jede Pumpe könne in jeder Minute 160 Pfd. Wasser liefern und beide Pumpen würden in Thätigkeit gesetzt, so stiege der Wasserspiegel in der Minute zwar um 2 Zoll, die Dampfproduction würde aber auf $\frac{38400 - 4 \cdot 8000}{640 - 150}$ = 13 Pfd. beschränkt. Hieraus kann man erkennen, welches kräftige Mittel zur Mäßigung der Dampfproduction in der Wasserzuleitung besteht.

Die Dampfspannung kann verschieden sein und ist von den oben angegebenen Zahlen wenig abhängig, denn dasselbe Gewichtsquantum Dampf enthält dieselbe Wärmemenge bei hoher und bei niederer Spannung und kann auch in beiden Fällen fast durch dasselbe Quantum Feuerungsmaterial erzeugt werden. Die gewöhnliche Spannung im Dampfkessel beträgt 5 bis 6 Atmosphären, doch geht man (namentlich in England) selbst bis $9^1/_6$ Atmosphären hinauf. Die Spannung in den Cylindern ist, wie schon oben angeführt ist, geringer als im Kessel und lediglich von der Größe der zu überwindenden Hindernisse abhängig. Die Cylinder sind etwa 2′ lang, 11 bis 13″ weit, und haben eine Hubhöhe von etwa 18″; die Kurbellänge am Treibrade ist also 9″. In der Secunde finden gewöhnlich 2 bis $2^1/_2$ Kolbenspiele, also eben so viele Umgänge des Treibrades statt, welche Zahl nicht wohl über 3 gesteigert werden darf.

Wir wollen nun ausgehend von einigen Geschwindigkeiten unserer Locomotive, die diesen Geschwindigkeiten entsprechende Zugkraft und Dampfspannung überschläglich angeben. Dabei wollen wir der Einfachheit wegen die Kolbenfläche zu 1 □′ annehmen, was einer Cylinderweite von nicht ganz 14″ entspricht. Die Hubhöhe sei 18″, der Durchmesser der Treibräder 5′. Nehmen wir an, die Geschwindigkeit der Locomotive sei 20′, also eine deutsche Meile in 20 Minuten. Die Treibräder haben eine Peripherie von etwa $15^5/_7$ Fuß, machen also in der Minute etwa $76^1/_3$ Umdrehungen; bei jeder Umdrehung füllt sich jeder Cylinder zwei Mal mit Dampf, die Capacität des Cylinders ist $1^1/_2$ Cubikfuß, folglich verbraucht jede Umdrehung des Treibrades 6 Cubikf. Dampf; dies giebt auf die Minute $6 \times 76^1/_3 = 458$ Cubikf. Dampf. Werden die 60 Pfd. Dampf, welche der Kessel erzeugt auch verbraucht, so muß der Dampf im Cylinder noch eine Dichte behalten, bei welcher $\frac{458}{60} = 7{,}63$ Cubikfuß ein Pfund wiegen. Bei dieser Dichte hat der Dampf eine Spannung von etwa 3,8 Atmosphären. Hiervon muß in Abzug kommen 1 Atmosphäre für den Gegendruck der atmosphärischen Luft, etwa $^1/_3$ Atmosphäre als Rückwirkung des Dampfes vom Blaserohr und eben so viel zum Betrieb der Wasserpumpe; somit bleiben als wirksamer Dampfdruck noch etwa 2,1 Atmosphären. Der active Ueberdruck gegen beide Kolbenflächen beträgt sonach, den Atmosphärendruck zu 15 Pfd. für den Quadratzoll gerechnet: $2 \cdot 144 \cdot 15 \cdot 2{,}1 = 9072$ Pfd. Ziehen wir hiervon wegen der Kolbenreibung $^1/_9$ ab, so bleibt 8064 Pfd. Dieser Druck macht während einer Umdrehung der Treibräder einen Weg gleich der doppelten Hubhöhe, also von 3′, hingegen legt

in dieſer Zeit der geſammte Zug einen Weg gleich der Peripherie der Treibräder, alſo gleich $15^5/_7$ zurück, ſo daß ſich hieraus als die Zugkraft der Locomotive ergiebt: $\frac{8064 \cdot 3}{15^5/_7}$ = etwa 1540 Pfd. = 14 Ctr.

Nehmen wir nun an, daß auf horizontaler Eiſenbahn 1 Pfd. Zugkraft eine Wagenlaſt von 250 Pfd. fortziehen kann, ſo iſt die in unſerem Falle zu bewältigende Geſammtlaſt = 385000 Pfd. = 3500 Ctr. Die Belaſtung beider Treibräder muß aber mindeſtens $6 \times 14 = 84$ Ctr. betragen. Da beide Treibräder im Maximum etwa mit 240 Ctr. belaſtet werden können, ſo iſt die Belaſtung mit 84 Ctr. eine verhältnißmäßig noch geringe. Da man gewöhnlich die Treibräder mit 0,45 vom Gewicht der ganzen Locomotive belaſtet, ſo brauchte in unſerem Falle die Locomotive nicht ſchwerer zu ſein als $\frac{20}{9} \cdot 84 = 187$ Centner. (Die erſten Locomotiven waren etwa 120 Ctr. ſchwer, jetzt ſteigert man das Gewicht oft bis auf 700 Ctr.) Setzen wir nun das Gewicht der Locomotive mit dem Tender gleich 300 Ctr., ſo bleibt als Nutzlaſt 3200 Ctr. oder eine Reihe von 16 Wagen zu 200 Ctr. Bruttogewicht.

Es ſei jetzt die Geſchwindigkeit der Locomotive 30′, d. i. eine deutſche Meile in $13^1/_3$ Minute, oder $4^1/_2$ Meile in einer Stunde. Die Treibräder machen dann in der Secunde etwa $1^{10}/_{11}$, alſo in der Minute $114^1/_2$ Umdrehung. Die Cylinder verlangen in der Minute $6 \times 114^1/_2 = 687$ Cubikfuß Dampf; wiegt dieſer 60 Pfd., ſo kommen auf 1 Pfd. jetzt 11,45 Cubikf. Dampf. In dieſer Dichte hat der Dampf eine Spannung von 2,46 Atmoſphäre. Rechnen wir wegen der größeren Geſchwindigkeit des Zuges die Wirkung des Blaſerohrs nur zu $^1/_4$ Atmoſphäre, die der Waſſerpumpe wegen der geringeren Dampfſpannung auch zu $^1/_4$ Atmoſphäre, ſo bleibt für die wirkſame Dampfſpannung $2{,}46 - 1{,}5 = 0{,}96$ Atmoſphäre, der Dampfüberdruck iſt alſo in beiden Cylindern $2 \cdot 144 \cdot 15 \cdot 0{,}96 = 4147$ Pfd.; nach $^1/_9$ Abzug wegen der Kolbenreibung bleibt 3686 Pfd. Uebertragen wir dieſen Kolbendruck auf die Radare, ſo bleibt $\frac{3686 \times 3}{15^5/_7}$ oder $703^1/_2$ Pfd. oder $6^2/_5$ Ctr., hieraus folgt die Totallaſt der Locomotive zu $250 \times 6^2/_5$ Ctr. = 1600 Ctr. Ziehen wir hiervon 300 Ctr. für Locomotive und Tender ab, ſo bleibt als Nutzlaſt 1300 Ctr., oder $6^1/_2$ Wagen zu 200 Ctr. Bruttogewicht.

Nehmen wir nun die Geſchwindigkeit zu 40′ an, ſo legt die Locomotive in der Stunde 6 deutſche Meilen zurück, braucht aber in der Minute 916 Cubikfuß Dampf, ſo daß jetzt 15,26 Cubikfuß ein Gewicht von einem Pfunde haben. Die dieſer Dichte entſprechende Dampfſpannung iſt 1,75 Atmoſphäre, und ſetzen wir den Widerſtand des Blaſerohrs und der Waſſerpumpe zu je $^1/_5$ Atmoſphäre, ſo bleibt als wirkende Dampfſpannung 0,35 Atmoſphäre zurück. Dieſer Spannung entſpricht ein Ueberdruck von $2 \cdot 144 \cdot 0{,}35 \cdot 15 = 1512$ Pfd. Ziehen wir wegen der Reibung wieder $^1/_3$ ab, ſo bleiben 1344 Pfd., dieſe auf die Radaren übertragen, geben eine Zugkraft = $\frac{1344 \cdot 3}{15^5/_8} = 256^1/_2$ Pfd. oder $2^1/_3$ Ctr. Die Totallaſt iſt ſomit 583 Ctr., alſo die Nutzlaſt 283 Ctr. Die Locomotive

könnte alſo bei dieſer Geſchwindigkeit nicht viel mehr als einen Wagen zu 200 Ctr. Bruttogewicht fortziehen.

Vergleichen wir die drei gefundenen Reſultate:

Geſchwindigkeit 20′, Nutzlaſt 3200 Ctr.,
" 30′, " 1300 "
" 40′, " 283 "

ſo ſehen wir, daß bei ſteigender Geſchwindigkeit die Nutzlaſt in viel ſtärkerem Verhältniß abnimmt, als die Geſchwindigkeit zunimmt, ſo daß ſehr bald die Locomotive das Maximum der Geſchwindigkeit erreicht haben wird; alsdann wird ſie nur ſich und den Tender, aber keine Nutzlaſt weiter fortzuziehen im Stande ſein.

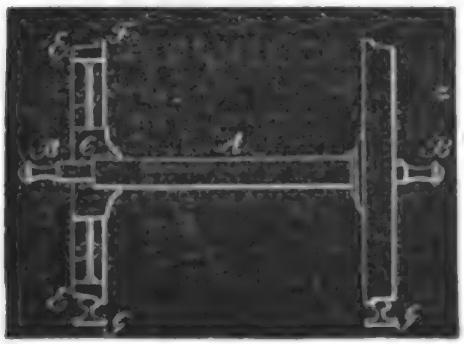
Weiter ergiebt ſich, daß der Nutzeffect der Locomotive dann am größten iſt, wenn ſie ſich langſam bewegt, ein Verhältniß, das zwar auch bei der feſtſtehenden Dampfmaſchine gilt, aber hier noch im höheren Maße.

Es braucht wohl kaum wiederholt zu werden, daß vorſtehende Rechnungen nur überſchlägliche ſein ſollen, um das gegenſeitige Verhältniß der Vorgänge anſchaulich zu machen; ſtrengere Rechnungen erfordern ein genaues Eingehen auf dieſe Vorgänge ſelbſt.

II. Specielle Erörterung der einzelnen Locomotiventheile.

Räder und Aren. Die erſten Locomotiven hatten 4 Räder. Nach dem Unglück auf der Verſailler Bahn (8. Mai 1842) mußten die Locomotiven mindeſtens 6 Räder haben, weil dann das Brechen einer Are weniger gefährlich iſt. Will man beſonders ſchwere Locomotiven bauen, ſo wendet man wohl auch 8 Räder an, um mehrere Paare belaſten zu können, und verbindet dann oft zwei Paar zu einem beſonderen Wagengeſtell. Die Höhe der Fahrräder iſt etwa 3′, die der Treibräder ſteigert man gern bei Locomotiven zu ſchneller Bewegung, doch darf man dieſelbe nicht gut höher nehmen, als das $1^1/_2$fache der Spurweite beträgt; dieſe iſt = 4′ $8^1/_2$″ engl. = 1,435^m = faſt 4′ 7″ rh.; deshalb wäre das Maximum der Höhe für Treibräder 7′, obwohl auch dieſes hie und da überſchritten wird. Ein Treibrad darf nicht wohl mehr als 3 Umdrehungen in der Secunde machen, bei einer Höhe von 7′ entſpräche dieſe Umdrehungszahl einer fortſchreitenden Geſchwindigkeit von etwa 66′; d. i. von faſt 10 deutſchen Meilen in der Stunde.

Die Fahrräder mit ihren Aren haben im Allgemeinen die Einrichtung der gewöhnlichen Räder für Eiſenbahnwagen. In beiſtehender Figur bezeichnet A die ſchmiedeeiſerne Are, die in der Mitte etwas ſchwächer als in den Radnaben iſt. B B ſind die Arenſchenkel, auf denen die Schmierbüchſen ruhen, C iſt die gußeiſerne Nabe, D ſind die ſchmiedeeiſernen Speichen, die der Feſtigkeit wegen einen doppelt T förmigen Querſchnitt erhalten und beim Guß der Nabe mit dieſer verbunden werden. Je zwei und zwei Speichen ſind nach außen durch einen Bogen verbunden und auf dieſe Verbindungsſtücke wird der



ebenfalls ſchmiedeeiſerne Radkranz aufgenietet. F iſt der an der inneren Seite hervorſtehende Spurkranz, der die Räder auf den Schienen G zurückhalten kann.

Der Umfang der Radkränze iſt nicht rein cylindriſch, ſondern coniſch, mit der nach außen gekehrten Verjüngung, damit die Räder beim Fahren an einer Bahnkrümmung nicht ſchleifen. Denn die Räder auf der äußeren Schiene müſſen hier gleichzeitig einen größeren Weg zurücklegen als die auf der inneren, und das iſt bei der feſten Verbindung der Räder mit der Axe nur möglich, wenn die äußeren Räder einen größeren Durchmeſſer haben. Beim Fahren auf einer Krümmung wird der Wagen durch die Centrifugalität nach der äußeren Seite gedrängt, dabei haben die Eiſenbahnräder zwiſchen den Schienen einen Spielraum von etwa $^3/_4$″, und es werden nun die coniſchen Räder die äußere Schiene mit einem größeren Radius, die innere mit einem kleineren berühren.

I.

In nebenſtehender Figur bezeichnen AA′ und BB′ zwei Schienen in einer Bahnkrümmung vom Radius CD = r; iſt die Spurweite AB = b, ſo verhalten ſich die gleichzeitig zu durchlaufenden Wege AA′ : BB′ = r − $^1/_2$ b : r + $^1/_2$ b; ähnlich müſſen ſich die Peripherien und die Durchmeſſer der Räder verhalten. Die Verjüngung der Radkränze iſt etwa $^1/_{20}$, und da jedes Rad etwa $^3/_8$ Zoll von ſeiner mittleren Lage zur Seite ausweichen kann, ſo kann der Radius ſich um $^3/_8 . {}^1/_{20}$, alſo der Durchmeſſer um $2 . {}^3/_8 . {}^1/_{20} = 0{,}0375$″ verändern. Setzen wir dieſe Veränderungen überhaupt = δ, den Raddurchmeſſer aber = d, ſo folgt:

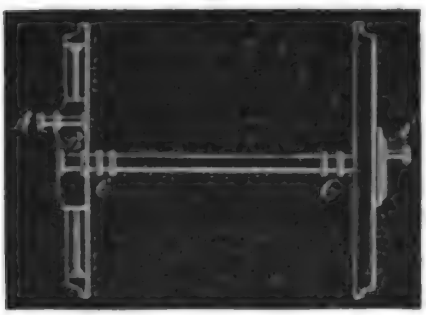
$$r - {}^1/_2 b : r + {}^1/_2 b = d - \delta : d + \delta;$$ hieraus folgt:

$$r = \frac{bd}{2\delta}$$

Nun iſt b = 55″, d = 36′, δ = 0,0375″, alſo r = 2200′.

So lange alſo der Krümmungshalbmeſſer der Bahn größer als 2200′ bleibt, wird die Conicität der Räder vollkommen ausreichen, ein Schleifen der Räder zu verhüten, wird aber die Krümmung ſtärker, der Radius alſo kleiner, ſo muß damit ein theilweiſes Schleifen entweder der äußeren oder inneren Räder, ſo wie hierdurch ein Torſionsbeſtreben der Axe eintreten.

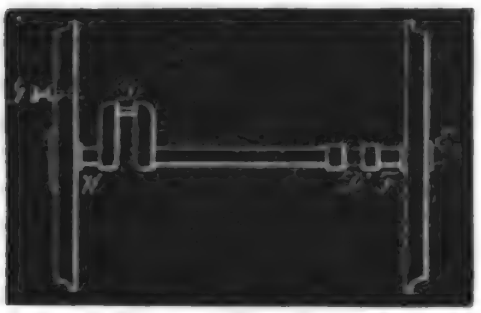
II.



Die Axen der Treibräder haben eine abweichende Conſtruction, es ſind hier folgende Fälle zu unterſcheiden: 1) Liegen die Treibſtangen außerhalb der Treibräder, ſo haben ſie ihren Angriff an der Kurbelwarze A (in nebenſtehender Fig. II.), welche im Nabenkörper des Rades befeſtigt iſt. Die Axenſchenkel und Schmierbüchſen können aber dann nicht gleichzeitig an der äußeren Seite liegen, ſondern liegen an der inneren

Seite bei C, C, im übrigen kann die Axe zwiſchen den Rädern ganz gerade gemacht werden.

2) Liegen die Treibſtangen zwiſchen den Rädern, ſo haben ſie ihren Angriff in einer Kurbel, die Axe iſt dann zwei Mal gekröpft, bei D und D' in beiſtehender Figur, ſo aber, daß die beiden Kurbeln einen rechten Winkel mit einander bilden. Die Axenſchenkel können dann entweder an der äußeren Seite des Rades liegen, wie gewöhnlich, bei E, oder ſie liegen an der inneren Seite, zwiſchen dem Rade und der Kurbel, bei F.

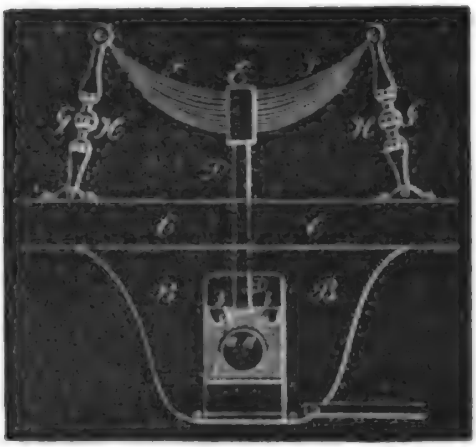


3) Iſt das Treibrad noch durch eine Kuppelſtange mit einem anderen Rade verbunden, dann haben Treibſtange und Kuppelſtange entweder einen gemeinſchaftlichen Angriff an einer Warze oder einer Verkröpfung, oder die eine greift in eine Warze, die andere in ein Knie ein. Dieſe Einrichtung zeigt die linke Hälfte von beiſtehender Figur. Auf den Axen befinden ſich noch die Scheiben für die Schiebercxcentriken. Liegen die Treibräder zwiſchen den beiden Paaren der Fahrräder, ſo können bei ihnen die Spurkränze wegfallen, weil das hintere und vordere Räderpaar die Locomotive ſchon vor dem Entgleiten bewahren.

In der Regel zieht man die geraden Axen den gekröpften vor. Gerade Axen laſſen ſich leichter und ſolider anfertigen, man kann ſie näher an den Feuerkaſten rücken, auch kann man dann den Keſſel um 1 bis $1^1/_2$' tiefer legen, ſo daß die Maſchine weniger hoch wird. Die wichtigſten Theile ſind dann leicht zugänglich, laſſen ſich gut verſchmieren und repariren. Gegen die geraden Axen wird zwar vorgebracht, daß die Cylinder dann außen liegen müſſen und zu ſehr der Abkühlung ausgeſetzt ſind, ſo wie, daß die an der äußeren Seite der Maſchine wirkenden Triebkräfte das ſogenannte Schwänzeln der Locomotive, ein abwechſelndes Schwanken nach rechts und links begünſtigen. Dieſe Nachtheile laſſen ſich aber leicht vermindern und ſind überhaupt geringer als die Vortheile, welche gerade Axen beſitzen. Die Haupteigenſchaft derſelben iſt ihre Feſtigkeit, deshalb nimmt man das beſte Eiſen zu ihnen und verwendet auf ihre Verfertigung beſondere Sorgfalt; aber dennoch können Axenbrüche nicht vollſtändig vermieden werden. Es liegt das in einem eigenthümlichen Vorgange. Während des längeren Gebrauches ändert ſich durch die vielen Erſchütterungen, welchen die Axen ausgeſetzt ſind, ihr faſeriges Gefüge allmälig in ein kryſtalliniſches um; es findet alſo in dieſem ſo feſten Körper eine kleine Bewegung der Molecüle unter einander ſtatt, wodurch ſich die Bruchfeſtigkeit derſelben vermindert; und die Axen brechen dann ſpäter bei einer Kraft, die geringer iſt als ſolche, welcher ſie früher vollſtändig widerſtehen konnten.

Schmierbüchſe und Druckfeder. Die Schmierbüchſe (engl. oilboxes, franz. boîtes à graisse) A (ſ. umſtehende Figur) iſt mittelſt Falz und Nuth beweglich zwiſchen den Leitungsplatten oder Axenhaltern (engl. guiding-plates, franz. plaques de garde) angebracht, deren Feſtigkeit ein Verſchieben der Schmierbüchſen nach vorn oder hinten oder zur Seite verhütet. Die Axenhalter ſelbſt ſind an die Langſchwellen C des Rahmens befeſtigt. Die Schmierbüchſen ſind in der Regel

aus Gußeiſen, enthalten an der inneren Seite das Axenfutter a aus Bronze und über demſelben die Schmiertröge b, b, aus denen Canäle in den Axenraum führen. Der ſtarke ſchmiedeeiſerne Bolzen D iſt mit der Schmierbüchſe verbunden, und hält mittelſt des Ringes E die Druckfeder F. Der Bolzen D geht frei durch den Rahmen C. Die Feder F beſteht aus 10 bis 20 Stahlſchienen von $^1/_4$ bis $^1/_2$ Zoll Stärke und 3 bis 4 Zoll Breite; die oberen dieſer Stahlſchienen haben eine Länge von 3 bis 5 Fuß und eine Bogenhöhe von 3 bis 5 Zoll, die darunter liegenden Schienen nehmen allmälig an Länge ab, ſo daß die Feder an den Enden 1 bis 2″ dick iſt, in der Mitte aber 4 bis 7″. Der Rahmen iſt durch die Hängebolzen G, G, welche durch die Schrauben H, H verkürzt oder verlängert werden können, an den Federenden aufgehangen, ſo daß jede Erſchütterung der Radaxe erſt durch die Feder F hindurch muß, um das Wagengeſtell berühren zu können.



Bei den Maſchinen von Crampton hängt das Geſtell nicht an den Federenden, ſondern drückt von oben darauf und die Feder liegt mit ihrer Mitte unterhalb der Schmierbüchſe. Auf der Bahn von Straßburg nach Paris befindet ſich eine Locomotive, bei welcher der Rahmen nur auf drei Federn ruht. Die 4 Fahrräder ſind zu einem beſonderen Geſtell vereinigt, welches zwei Federn in gewöhnlicher Weiſe beſitzt, die Treibaxe aber trägt eine einzige große quergeſtellte Tragfeder. Hierdurch will man nicht nur eine gleichmäßigere Vertheilung der Laſt erreichen, ſondern auch die Sicherheit, daß die vermittelnde Axe bei einem Gleiten der Räder nicht bricht.

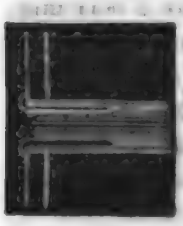
Keſſel. Der Feuerkaſten (engl. firebox, franz. foyer, boîte à feu) muß, weil er unmittelbar dem Feuer ausgeſetzt iſt, die größte Stärke haben. Die Bleche, aus denen der innere Kaſten zuſammengenietet wird, ſind $^1/_2$ bis 1″ ſtark und von Kupfer, weil dieſes Metall dem Feuer beſſer widerſteht als Eiſen; beſonders ſtark nimmt man die Röhrenplatte, weil dieſe durch die vielen Oeffnungen für die Heizröhren geſchwächt wird, und eben ſo auch die Feuerdecke. Letztere iſt nach innen gebogen, und wird durch mehrere ſchmiedeeiſerne Brückenſtäbe von 4″ Höhe und 1″ Dicke verſtärkt; dieſelben liegen in Abſtänden von 4 bis 6 Zoll neben einander und ſind mit der Feuerdecke vernietet. Außerdem wird die Feuerdecke noch durch einige Streben geſchützt. Die wenigen Sprengungen von Locomotivenkeſſeln, die vorgekommen ſind, ſcheinen von der Feuerdecke ausgegangen zu ſein, daher dieſe beſonders geſchützt werden muß. Die Weite des Feuerkaſtens und die Größe der Roſtfläche hängt von der Heizfläche ab, die der Keſſel bekommen ſoll, jene nimmt man gleich $^1/_{52}$ dieſer. Die Roſtſtäbe werden aus gewalztem oder geſchmiedetem Eiſen gemacht, ſie ſind 4″ hoch, oben $^3/_4$ bis 1″ breit (0,025^m), unten hingegen $^3/_8$ bis $^5/_8$ dick; der leere Raum zwiſchen ihnen iſt 1 bis 1$^1/_2$′, breit (0,03^m bis 0,05^m). Die Entfernung des Roſtes von der unteren Röhren'

reihe beträgt etwa 1′ 8″. Bis zu dieſer Röhrenreihe, zuweilen noch etwas höher, wird der Roſt mit Koks angefüllt.

Da die Seitenwände des äußeren Feuerkaſtens denen des inneren parallel gehen und an vielen Stellen eben ſind, ſo würden ſie den ſtarken Dampfdruck nicht zu ertragen vermögen, wenn nicht die parallelen Wände mittelſt kupferner Stehbolzen (engl. stays, franz. entretoises) verbunden wären; dieſelben ſind $^3/_4$″ ſtark und ſtehen um 4″ von einander ab. Unten iſt der Waſſerkaſten durch einen Kranz geſchloſſen, der an die Wände der beiden Feuerkaſten angenietet iſt und wiederum mit dem Roſt zuſammenhängt. Eben ſo iſt in die Oeffnung für die Heizthür ein eiſerner Ring zur Verbindung der inneren und äußeren Wand eingeſetzt.

Der cylindriſche Theil des Keſſels wird wie gewöhnlich aus Keſſelblech zuſammengeſetzt. Anſtatt die Blaſe mit ihren Blechen über einander zu legen und dann zu vernieten, haben Sharp und Roberts die Bleche mittelſt Blechſtreifen und zwei Nietreihen an einander genietet. Die innere Fläche bleibt dann eben und läßt ſich leichter reinigen. Die Dicke der Keſſelbleche hängt natürlich von der Weite des Keſſels und dem Dampfdruck ab. Bezeichnet d den Durchmeſſer des Keſſels, δ die Dicke der Bleche, p den Dampfdruck und k die abſolute Feſtigkeit des Eiſens, ſo muß $dp = 2\delta k$ ſein *). Es iſt demnach $\delta = \frac{dp}{2k}$. Die äußerſten Verhältniſſe, die vorgekommen ſind, ſind $d = 5^1/_3' = 64''$, und $p = 8{,}16$ Atmoſphären $= 122{,}5$ Pfund; für Blecheiſen ſetzt man $k = 9000$ Pfd.; nach dieſen Werthen ergiebt ſich 0,44 Zoll. Zu gewöhnlichen Locomotivkeſſeln nimmt man Blech von $^1/_4$ bis $^1/_3$″ Stärke, und in England geht man bei den ſtärkſten Keſſeln nicht über $^7/_{16}$″ hinaus; die franzöſiſchen Keſſel ſind um $^1/_3$ ſtärker als die engliſchen.

Die Feuerröhren ſind $1^1/_2$ bis 2″ weit, von Meſſing, und obwohl die Feſtigkeit des Meſſings kaum $^1/_3$ von der des Eiſens beträgt, ſo reicht für die Heizröhren eine Blechſtärke von 1″ vollkommen aus. Schwierig iſt die Einfügung der Röhren in die beiden Bodenplatten, ſo daß keine bei dem ſtarken Druck und der veränderlichen Ausdehnung des Metalls in der Wärme Waſſer durchlaſſe. Man paßt ſie genau in die Löcher der Platte ein und befeſtigt ſie durch eingetriebene Stahlringe mit coniſchem Rand (viroles) (vergl. nebenſtehende Figur). Früher nahm man Kupfer zu dieſen Röhren, Stephenſon nimmt gezogene eiſerne Röhren, doch verbrennen dieſe ſchneller und leiten auch die Wärme ſchlechter. Die Röhren müſſen von Zeit zu Zeit erneuert werden; berſtet eine einzelne, ſo kann man in die hintere und vordere Oeffnung einen hölzernen Pfropfen eintreiben, der dann durch das in ihn eindringende Waſſer gegen das Verbrennen geſchützt wird. Den kürzeſten Abſtand zweier Röhren von einander nimmt man zu 7 bis 8‴ an, wonach man für einen gegebenen Durchmeſſer des Keſſels die mögliche Anzahl der Röhren



*) Die Kraft, welche den Keſſel der Länge nach aufzureißen ſtrebt, iſt dem Dampfdruck gleich, der gegen eine Fläche vom Arenſchnitt des Keſſels gerichtet iſt. Iſt l die Keſſellänge, ſo iſt dieſer Druck pld; die widerſtehende Kraft liegt auf beiden Seiten des Keſſels und hat einen Querſchnitt $2l\delta$.

leicht angeben kann. Gewöhnlich beträgt dieſe Zahl 80 bis 150, doch ſteigert ſich die Zahl in ſeltenen Fällen bis 250, ja bis 300. Bei 2″ Weite liefern 100 Röhren auf jeden Fuß ihrer Länge etwa 52 Quadratfuß Fläche, bei 9′ Länge würden 150 Röhren alſo eine indirecte Heizfläche geben von 700 Quadratfuß.

Zu den Wänden der Rauchkammer und des Schornſteins (Eſſe) wendet man Eiſenblech von 2‴ Dicke an, und die hintere Rauchkammerplatte, weil ſie Bodenplatte des Keſſels iſt, wird $^3/_4$″ ſtark gemacht. Die Eſſe enthält noch ein Drahtgitter, um das Auswerfen glühender Kohlenſtücke zu verhüten, und eine Klappe für den Abſchluß während des Stillſtandes der Maſchine. Zuweilen iſt der Schornſtein noch mit dem ſogenannten Klein'ſchen Funkenfänger verſehen, der weſentlich in einem Leitſchaufelapparat beſteht, welcher zwiſchen die beiden Kegelmäntel A, B in nebenſtehender Fig. I. eingeſetzt iſt. Durch ihn kommt der Rauch in eine drehende Bewegung und wirft die glühenden Kohlentheile gegen den Mantel C, C des Schornſteines, an dem ſie niederfallen. Dieſer Mantel hat unten eine Thür D, durch welche die Aſchentheile von Zeit zu Zeit entfernt werden können. Zur Feuerung verwendet man meiſtens Koks, weil er wenig Rauch erzeugt, der bei Anwendung der Steinkohle die Feuerröhren bald verrußen würde; außerdem bäckt Steinkohle leicht zuſammen und ihr Schwefelgehalt würde das Kupfer angreifen. Bei Holzfeuerung muß der Feuerraum etwas weiter ſein, eben ſo bei Anwendung von Torf oder Braunkohle.

I.

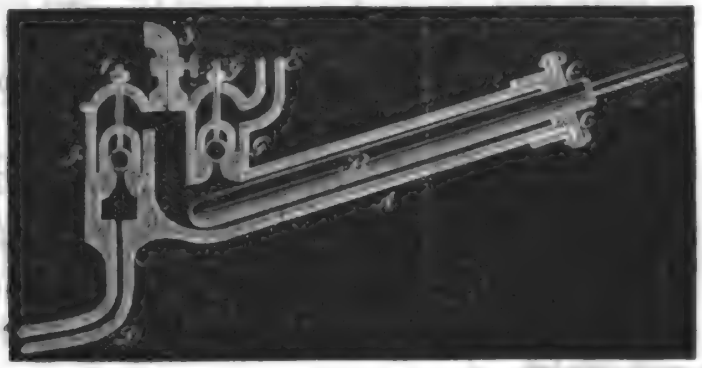
II.

Die Verbindung des Keſſels A in nebenſtehender Fig. II. mit dem Geſtellrahmen geſchieht durch ſtarke Eiſenſtücke, die einerſeits bei C mit dem Keſſel vernietet, andererſeits bei D mit dem Geſtell durch Schraubenbolzen verbunden ſind. Damit ſich der Keſſel in der Hitze ohne Nachtheil ausdehnen kann, ſind die Bolzenlöcher etwas länglichrund gearbeitet.

Die Speiſepumpe. Umſtehende Fig. I. giebt den Durchſchnitt einer Speiſepumpe an. A iſt der Pumpenſtiefel, B der maſſive Kolben, der ſich bei C in einer Stopfbüchſe bewegt. Wenn die Bewegung unmittelbar von der Dampfkolbenſtange übertragen wird, ſo muß der Stiefel parallel dem Dampfcylinder liegen, und die Hubhöhe des Pumpenkolbens iſt gleich der des Dampfkeſſels. Selten wendet man eine Hebelverbindung an, um dem Pumpenkolben einen geringeren Hub zu geben, oder läßt ihn durch ein Excenter treiben. D iſt die Saugröhre, die das Waſſer aus dem Tender herbeiführt, ſie iſt von Kupfer und $1^1/_2$ bis 2 Zoll weit; eben ſo weit iſt das Druckrohr E. Das Saugventil F und

das Druckventil G ſind Kugelventile, welche in einem durchbrochenen Gehäuſe liegen; wegen des ſchnellen Ganges der Pumpe ſind Kugelventile ſicherer; die Schrauben f und g dienen dazu, die Ventilgehäuſe nieder zu halten. Das Spiel der Pumpe

I.



iſt leicht aus der Zeichnung zu erkennen. J iſt ein Hahn, durch deſſen Oeffnung der Stiefel mit der Luft in Verbindung gebracht werden kann, wenn man das Spiel der Ventile und damit die Bewegung des Waſſers abſtellen will. Der Durchmeſſer des Kolbens iſt etwa 9 Mal kleiner als der des Dampfkolbens, folglich liefert eine Pumpe 160 Mal weniger Waſſer, als ein Cylinder dem Volumen nach Dampf verbraucht; da aber Dampf von 5 Atmoſphären Spannung immer noch 400 Mal mehr Raum einnimmt, als ein gleiches Gewicht Waſſer, ſo würde eine Pumpe, ſelbſt wenn die Cylinder mit ſtark geſpanntem Dampfe arbeiteten, immer noch $1^1/_4$ Mal mehr Waſſer liefern, als beide Cylinder verbrauchen. Bei Dampf von 3 Atmoſphären Spannung, der etwa 600 Mal leichter als Waſſer iſt, würde alſo eine Pumpe allein ſchon bei ſtetem Gange etwa den doppelten Bedarf an Waſſer liefern.

Bei der beſchriebenen Einrichtung ließe ſich der Keſſel nur während der Bewegung mit Waſſer ſpeiſen, um aber die Speiſung auch in der Ruhe vornehmen zu können, ſo giebt es gewöhnlich auf den Bahnhöfen Standpunkte, wo die Treibräder ſich, ohne die Schiene zu berühren, umdrehen und ſo die Pumpen in Bewegung ſetzen können. Da dieſe Einrichtung bei gekuppelten Rädern nicht anwendbar iſt, ſo haben die Frachtlocomotiven oft noch einen kleinen Dampfcylinder beſonders zum Treiben der Speiſepumpe, oder es exiſtirt eine Handpumpe zu dieſem Zweck.

II.

Sicherheitsventile und Manometer. Daß die Sicherheitsventile nicht durch Gewichte belaſtet ſein können, ſondern durch Federn geſpannt werden, iſt ſchon oben angeführt, ſo wie, daß das vordere mit Hülfe einer Federwage auch als Manometer gebraucht werden kann. Nebenſtehende Fig. II. giebt die Einrichtung deſſelben an. A iſt die Schraubenmutter, durch welche die Spannung

der Feder ſo weit herabgelaſſen werden kann, bis der Dampfdruck in B das Ventil C hebt. An der Federwage D läßt ſich dann der Stand des Dampfdrucks erkennen.

Man hat auch vorgeſchlagen, um die Dampfſpannung zu erkennen, den Dampf auf einen kleinen Kolben wirken zu laſſen, welcher durch eine Feder niedergedrückt wird. Das Ende der Kolbenſtange könnte dann mit einer Scala verbunden ſein, um daran die Stärke des Drucks abzuleſen. Die Veränderlichkeit der Reibung, welche dieſer Kolben zu überwinden hat, läßt dieſes Inſtrument als unzuverläſſig erſcheinen.

Auch Thermometer, deren Kugeln in das Keſſelwaſſer eingetaucht ſind, können den Dampfdruck angeben, da dem hohen Dampfdruck auch — wenn der Dampf nicht überhitzt iſt — eine höhere Temperatur des Keſſelwaſſers entſpricht. Doch ſind dieſe Manometer nicht empfindlich genug. In der neueren Zeit ſind die Manometer von Bourdon vielfach für Locomotivkeſſel in Gebrauch gekommen.

Der weſentliche Theil derſelben iſt eine ringförmige Röhre A, A (in nebenſtehender Figur) von Meſſing, die an den Enden a, a geſchloſſen iſt; durch die Röhre B communicirt ſie mit dem Keſſel, auf den der ganze Apparat aufgeſchraubt iſt; durch den Hahn C kann man Dampf in die Röhre A einlaſſen. Der Druck des Dampfes im Innern der Röhre wird die Geſtalt der Röhre etwas ändern und die Endpunkte a, a von einander entfernen. Hierdurch wird mittelſt der kleinen Stangen b, b der Hebel c um ſeinen Drehpunkt d bewegt, und das Zeigerende e des Hebels zeigt nun auf einen anderen Punkt der Scala f. Dieſe Scala wird nach einem Normalmanometer, wenn die Locomotive in Ruhe iſt, empiriſch entworfen. Ein Gehäuſe D ſchließt den Metallring, den Zeiger und die Scala ein. Es leuchtet ein, daß die Elaſticität der Metallröhren mit der Zeit nachläßt, ſo daß von Zeit zu Zeit die Richtigkeit der Scala geprüft werden muß.

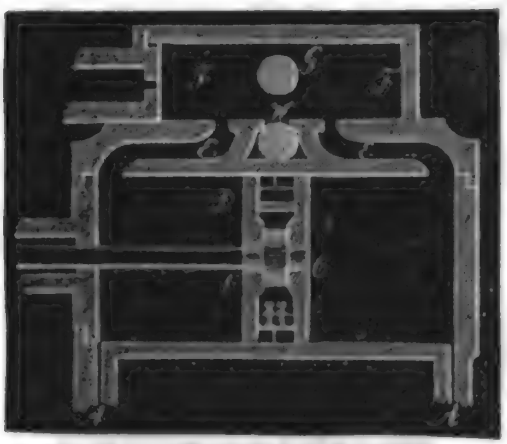
Dampfrohr und Regulator. Das Dampfrohr iſt aus Kupfer, und anfangs $5\frac{1}{2}$", nach ſeiner Gabelung $3\frac{1}{2}$" weit, ſo daß der Querſchnitt jedes Armes etwa $\frac{1}{10}$ der Kolbenfläche bildet. Die Verbindung der beiden Arme mit dem Hauptrohre wird durch ein gußeiſernes Zwiſchenſtück hergeſtellt. Der Anfang des Dampfrohrs, der aus dem Dome herabſteigt, heißt Dampfſchlund. Damit der Dampf bei ſeinem Eintritt in den Dampfſchlund nicht zu viel Waſſer mit fortnehme, iſt es gut, ihn durch einen Mantel mehrere Male auf- und abſteigen zu laſſen, bevor er vom Dampfrohr aufgenommen wird. Man hat vorgeſchlagen, aus dem vorderen Theile des Dampfrohrs unmittelbar über der Feuerdecke eine Vorkammer zu bilden, um hier das mitgenommene Waſſer in Dampf zu verwandeln. Doch iſt dieſe Einrichtung nicht zu empfehlen, weil die nicht vom Waſſer berührte Feuerdecke leicht glühend werden und berſten würde. Der Regulator kann aus einem Hahn, einem Ventil, einer Droſſelklappe, oder wie gewöhnlich aus zwei kreis-

Digitized by Google

runden Scheiben mit ausgeſtoßenen Sectoren beſtehen, die eine iſt mit dem Dampfrohre unbeweglich verbunden, die andere nur ohne Axe drehbar, ſo daß dieſe Scheibe durch die Drehung dieſer Axe mittelſt einer Kurbel ſo geſtellt werden kann, daß die Oeffnungen beider Scheiben entweder ganz, zum Theil oder gar nicht über einander ſtehen. Andere Locomotiven haben auf dem Dampfrohre einen Spalt, der mit einem Schieber nach Erfordern bedeckt werden kann.

Der Dom befindet ſich meiſtens über dem Feuerkaſten, weil hier das Waſſer und der Dampf am heißeſten ſind, aber hier iſt auch das Waſſer in der heftigſten Bewegung und das Dampfrohr muß dann ſehr lang ſein, geht dann auch unter dem Fahrloch durch und erſchwert die Keſſelreinigung. Deshalb bringt man den Dom zuweilen in die Nähe des Schornſteins, wo man zwar weniger heißen Dampf, aber ruhigeres Waſſer hat. Das Dampfrohr wird dann kurz, dagegen die Regulatorſtange lang, dieſelbe braucht dann nicht durch den Keſſel zu gehen, ſondern wird der Länge nach über demſelben hingeführt, bis ſie in den Dom eindringt. Crampton, der ſeine Cylinder in der Mitte der Keſſellänge anbringt, ſtellt auch den Dom an dieſe Stelle, ſo daß das Dampfrohr nur aus dem Dom vertical herab in die Dampfkammer führt.

Die Dampfcylinder. Die Dampfcylinder ſind von Gußeiſen, ſelten über 2′ 2″ lang, wovon für den inneren Raum noch etwa 4″ für die Kolbendicke abgehen. Die Metalldicke beträgt faſt 1″, da ſie nach mehreren Jahren wieder ausgeſchliffen werden müſſen. Sie liegen entweder in der Rauchkammer, oder außerhalb derſelben; im letzten Falle müſſen ſie mit Filz-, Holz- oder Blechmänteln gegen die Abkühlung geſichert ſein. Die Deckel der Cylinder laſſen ſich öffnen; an beiden Enden ſind Hähne A, A (ſ. nebenſtehende Figur) zum Ablaſſen des angeſammelten Waſſers, außerdem ſind Schmierhähne zum Schmieren der Kolben und Schieber vorhanden. Die Stopfbüchſe zum Durchlaſſen der Kolbenſtange iſt von Meſſing und mit Dampfliederung verſehen. Der Kolben beſteht aus den beiden gußeiſernen Kolbentellern C, C, die auf das etwas verſtärkte Ende der Kolbenſtange aufgeſteckt ſind und durch Schrauben D zuſammengehalten werden. Zwiſchen ihnen liegen die beiden Liederungsringe neben einander, die aus Bronze, Gußeiſen oder Stahl beſtehen und gegen die Cylinderwand mittelſt Federn angedrückt werden. Damit dieſer Druck ein elaſtiſcher ſei, iſt jeder Ring einmal durchſchnitten und in die Fuge drängt ſich ein Keil, der von einer Feder gedrückt wird. Durch eine Schraube, die durch dieſe Feder geht, läßt ſich die Spannung der Feder reguliren. E ſind die Dampfwege, F die Dampfkammer, G die Mündung des Dampfrohrs und H die des Blaſerohrs. Die Kolbenſtange wird aus Schmiedeeiſen oder Stahl in einer Stärke von $1\frac{1}{4}$ bis $1\frac{3}{4}$ Zoll gefertigt; am Ende derſelben befindet ſich ein ſchmiedeeiſernes Querhaupt

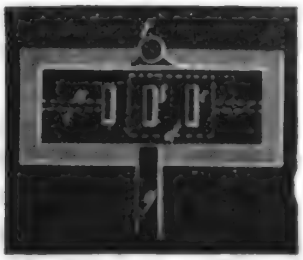


mit Leitungsbacken aus Gußeiſen oder Bronze. Durch dieſes Querhaupt und die dazu gehörigen Leitungsröhren erhält die Kolbenſtange ihre Führung.

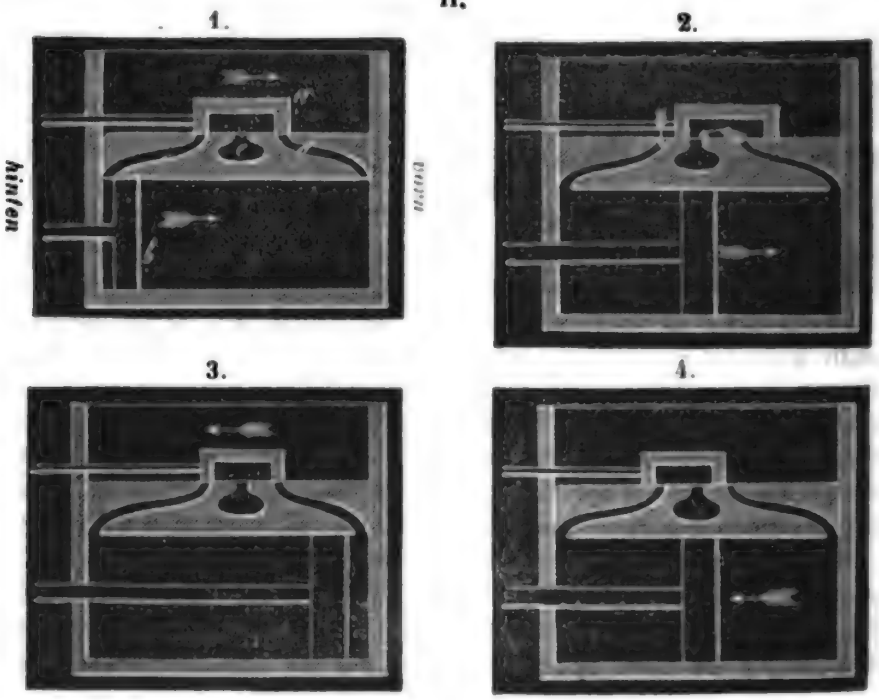
Der Leitungsrahmen beſteht weſentlich aus zwei parallelen ſchmiedeeiſernen oder ſtählernen Stäben, die ſich einerſeits an die Stopfbüchſe des Cylinders, andererſeits an den Geſtellrahmen anſchließen. Die innere Seite deſſelben, da wo die Leitungsbacken des Querhaupts ſich reibend an ihm bewegen, iſt meiſt mit Stahlſchienen bekleidet. Auf der oberen Seite des Leitungsrahmens ſind die für die Bewegung nöthigen Oelbecher angebracht. Das Querhaupt der Kolbenſtange enthält noch ein großes Auge für die Einlenkung der Treibſtange und ſeitlich ein kleineres für das Anſchließen der Pumpenſtange.

Die Dampfkammer und der Dampfſchieber bieten keine beſondere Eigenthümlichkeit. Die Dampfwege und ihre Oeffnungen müſſen geräumig genug ſein, um den Dampf aus der Dampfkammer ſchnell in die Cylinder zu laſſen, die Oeffnungen haben die Geſtalt ſchmaler Rechtecke, deren kleinſte Dimenſion in der Richtung der Schieberbewegung liegt, damit ſie durch eine kleine Bewegung der Schieber geöffnet und geſchloſſen werden können. Nebenſtehende Fig. I. ſtellt einen Grundriß der Dampfkammer vor, a, b, c ſind die Mündungen der Dampfwege, deren Länge etwa 6″ und Breite 1 bis $1\frac{1}{2}$″ beträgt; a und c führen in den Cylinder, b in das Blaſerohr, deſſen Anfang durch g angedeutet iſt; f iſt die Einmündung des Dampfrohrs. Das punktirte Rechteck d deutet den Dampfſchieber an; in der gezeichneten Lage deſſelben dringt der Dampf aus der Dampfkammer durch die Oeffnung a in den Cylinder, hingegen durch c und b aus dem Cylinder in das Blechrohr.

I.



II.



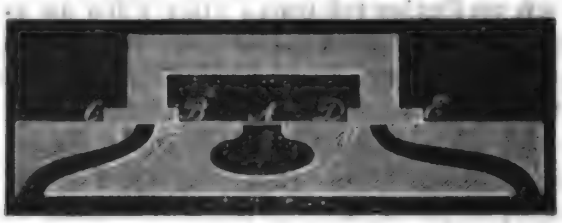
Vorſtehende Fig. II. 1, 2, 3, 4 giebt die verſchiedenen Stellungen des Schiebers zu den Oeffnungen der Dampfwege an und die ihnen entſprechenden Lagen des Dampfkolbens. In (1) hat der Dampfſchieber ſeine mittlere Stellung, er verſchließt beide Dampfwege, der Kolben iſt am hinteren Ende des Cylinders in der Umkehr begriffen. Der Dampfſchieber bewegt ſich alſobald nach vorn, öffnet den Dampfweg c und d, der Dampf tritt aus der Kammer durch c hinter den Kolben, treibt dieſen nach vorn; der Kolben treibt aber den vor ihm befindlichen Dampf durch d und e in das Blaſerohr. Schieber und Kolben nehmen bald die Lage in (2) an, man erkennt hier die eben beſchriebene Dampfbewegung; der Schieber iſt jetzt am weiteſten vorgeſchritten und in der Umkehr begriffen, der Kolben iſt auf der Mitte ſeines Weges. Während dieſer die zweite Hälfte des Weges zurücklegt, kehrt auch der Schieber um und verſchließt die Dampfwege wieder. Dieſe Stellung zeigt Fig. 3, kein Dampf treibt den Kolben noch weiter nach vorn, er kann umkehren, er wird es, ſobald der Schieber über ſeine Mittelſtellung in (3) nur etwas nach hinten fortgeſchritten iſt; alſobald werden die Dampfwege wieder geöffnet, und zwar wie Fig. 4 angiebt, ſo daß friſcher Dampf durch d vor den Kolben tritt und ihn wieder zurücktreibt. Der Mittelſtellung des Kolbens in (4) entſpricht wieder die am weiteſten zurückgegangene Stellung des Schiebers, der jetzt wieder nach vorn umkehrt, und die Dampfwege ſchließt, während der Kolben ſeinen Rückweg vollendet. Schieber und Kolben haben dann die Stellung in (1) wieder angenommen, und die beſchriebene Bewegung beginnt von neuem.

Hieraus ergiebt ſich nun, daß der Schieber in der Mitte ſeiner Bewegung begriffen iſt, wenn der Kolben an den Enden ſeiner Bahn ſich befindet, und umgekehrt, daß der Kolben in der Mitte ſeiner Bahn ſteht, wenn der Schieber die Enden ſeines Weges erreicht hat. Dieſes Verhältniß iſt nur dadurch erreichbar, daß die Lage des Excentriks, durch welches der Schieber bewegt wird, einen rechten Winkel bilden muß mit der Lage der Kurbel, welche von der Kolbenſtange und der Treibſtange bewegt wird. Weiter folgt, daß der Schieber am ſchnellſten ſich bewegen wird, wenn er in der Mitte ſeiner Bahn ſich befindet, und am langſamſten am Ende derſelben, deshalb wird das Oeffnen und Schließen der Dampfwege ſchnell vor ſich gehen, was auch mit dem Bedürfniß der Maſchine in Uebereinſtimmung ſteht.

Beide Folgerungen erleiden aber in der praktiſchen Ausführung der Locomotivcylinder eine Modification. Zuerſt hat die Erfahrung bewieſen, daß es für die Schnelligkeit des Kolbenwechſels von Vortheil iſt, wenn das Oeffnen der Dampfwege nicht erſt dann eintritt, *nachdem* der Kolben das Ende ſeiner Bahn erreicht hat, ſondern wenn es kurz *zuvor* geſchieht. Wenn der Kolben alſo im Begriff iſt einen Hub zu beenden, aber noch einen kleinen Weg vor ſich hat, dann öffnet man ſchon dem Dampf, der den Kolben bisher getrieben hat, den Weg zum Abzug, und bald darauf, aber immer noch *vor* Beendigung des Kolbenweges, tritt dem Kolben von der entgegengeſetzten Seite friſcher Dampf entgegen, bringt ihn zum Stehen und treibt ihn alſobald zurück. Das frühere Oeffnen der Dampfwege bedingt, daß der Schieber ſchon über der Mitte ſeiner Bewegung hinaus iſt, wenn die Treibradskurbel in dem todten Punkte ſteht, demnach muß das Schieberexcentrik nicht einen rechten Winkel mit der Treibkurbel bilden, ſondern einen ſtumpfen. Man nennt dieſes Verhältniß das *Voreilen* des Schiebers.

Nun iſt aber klar, daß dem früheren Eröffnen der Dampfwege auch ein früheres Schließen vorhergehen muß, es entſteht aber oft das Intereſſe, die Dampfwege, trotz der fortſchreitenden Bewegung des Schiebers, eine Zeit lang geſchloſſen zu halten, um dem Dampf Gelegenheit zu geben, durch Expanſion zu wirken, wodurch — wie aus der Lehre von der Dampfmaſchine bekannt iſt — bei ſonſt gleicher Wirkung eine Erſparniß an Brennmaterial entſteht. Man ſperrt den Dampfzufluß aus der Dampfkammer in den Cylinder früher ab, als es die Rückſicht auf das Kolbenſpiel verlangt, oft ſchon, wenn der Kolben erſt einen kleinen Theil ſeines Weges zurückgelegt hat. Eine ſolche frühere Abſperrung des Dampfes kann man nun erlangen durch Verbreiterung der Füße des Dampfſchiebers, denn wollte man die Füße des Dampfſchiebers nur ſo breit machen als die Oeffnungen der Dampfwege, ſo müßte das Schließen und Oeffnen des Dampfweges unmittelbar einander folgen, je mehr aber die Füße des Schiebers jene Oeffnungen überdecken, deſto länger werden dieſe davon bedeckt bleiben. Zugleich iſt man hierdurch im Stande, das Oeffnen des einen Weges zum Abzug für den gebrauchten Dampf früher eintreten zu laſſen, als das Oeffnen des anderen Weges für den friſchen Dampf, wovon oben die Rede war.

Es habe in beiſtehender Figur der Schieber CE ſeine Mittelſtellung. Es ſei nun von der Mitte A des Schieberweges aus die Entfernung des inneren Randes F und H der Dampfwege, alſo AF = a, die Breite der Oeffnung alſo FG und HJ ſei = b; ferner ſei die halbe innere Weite des Schiebers AB = a', und die Breite eines Schieberfußes BC = b'. Es iſt dann AC = AE = a' + b',



und AG = AJ = a + b. Bezeichnen wir nun mit s' den Weg, den der Schieber von ſeiner Mittelſtellung aus nach rechts machen muß, damit ſich der Abzugsweg des Dampfes in HJ öffne, und mit s'' den Weg, den er zurücklegen muß, damit ſich der andere Weg für den Zugang des Dampfes öffne, ſo folgt:

$$s' = DH' = a - a', \text{ und } \ldots\ldots (1)$$

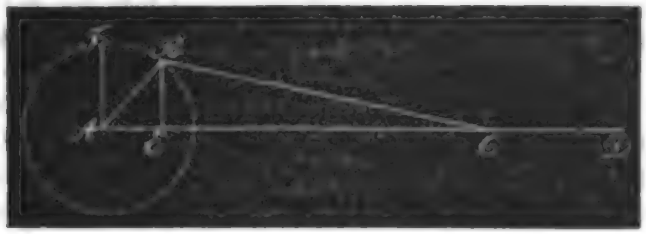
$$s'' = CG = a' + b' - (a + b) \ldots\ldots (2)$$

Bezeichnen wir nun ferner mit σ den kleinen Weg, um welchen der Rand C des Schieberfußes in ſeiner Bewegung nach rechts über den Rand G der Oeffnung hinweggegangen ſein muß, wenn der Kolben das hintere Ende ſeines Weges ſoll erreicht haben, und bezeichnen wir mit s_1 den Weg des Schiebers in dieſem Augenblicke von ſeiner Mittelſtellung aus gerechnet, ſo iſt ebenfalls

$$s_1 = s'' + \sigma = (a' + b') - (a + b) + \sigma \ldots\ldots (3).$$

Um hieraus nun die Stellung des Excenters näher zu beſtimmen, müſſen wir an eine einfache Formel aus der Lehre von der Kurbelbewegung erinnern.

Es sei A B in vorstehender Figur eine Kurbel, die sich um A dreht, B C seine Bläuelstange, C D eine andere Stange, die in der Richtung C D hin und hergeschoben wird. Betrachten wir die Bewegung eines beliebigen Punktes der



Stange C D und nehmen den Ort als Ausgangspunkt an, den er einnimmt, wenn die Kurbel A B die Lage A F senkrecht zu A D hat. Die Entfernung von dieser mittleren Stelle wird abhängen von dem Drehungswinkel B A F. Setzen wir $\triangle$ B A F $= \alpha$, A B $= r$, B C $= l$, so ist:

$$A C = r \sin \alpha + \sqrt{l^2 - r^2 \cos \alpha^2},$$ oder annähernd, da in der Regel r gegen l gering ist:

$$= r \sin \alpha + l - \frac{r^2 \cos \alpha^2}{2 l}$$

Für $\alpha = o$ ist $A C = l - \frac{r^2}{2 l}$, also ist während der Bewegung der Kurbel von A F nach A B die Ortsveränderung s des Punktes C:

$$s = \left(r \sin \alpha + l - \frac{r^2 \cos \alpha^2}{2 l}\right) - \left(l - \frac{r^2}{2 l}\right), \text{ oder}$$

$$s = r \sin \alpha + \frac{r^2 \sin \alpha^2}{2 l} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Ist l gegen r sehr lang, so kann man auch das zweite Glied dieses Werthes vernachlässigen, dann ist:

$$s = r \sin \alpha, \text{ oder } \sin \alpha = \frac{s}{r} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5).$$

Diese Formeln lassen sich auf die Schieberbewegung anwenden, denn die Excentrikstange ist vielmal länger als der Kurbelradius des Excenters. Bezeichnet also s irgend einen Weg, den der Schieber von seiner Mittelstellung aus zurückgelegt hat, bezeichnet α den entsprechenden Drehungswinkel der Excenterare oder, was dasselbe ist, der Treibare, r den Radius des Excenters, so ist

$$\sin \alpha = \frac{s}{r} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6),$$

Der Winkel α_1, der das Voreilen des Excenters bezeichnet, wird erhalten, wenn wir in Gleichung (6) für s den Werth s_1 aus (3) setzen; es ist also:

$$\sin \alpha_1 = \frac{(a' + b') - (a + b) + \sigma}{r} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7).$$

Der Excenterradius muß alſo mit der Kurbel des Treibrades einen Winkel $90^0 + \alpha_1$ bilden, wenn der Schieber den verlangten Grad des Voreilens haben ſoll.

Die Formel (6) iſt aber auch brauchbar, die Dauer der Dampfabſperrung und der des Dampfzufluſſes zu beſtimmen. Es iſt klar, ſo lange s kleiner als s' iſt, ſind beide Dampfwege verſchloſſen, weil erſt nach Zurücklegung des Weges s' der eine Weg ſich öffnet, und daß beide Wege geöffnet ſind, ſo lange s größer als s'' iſt. Nimmt man nun $s' = a - a'$ verhältnißmäßig groß, ſo wird die Abſperrung beider Oeffnungen lange dauern, und iſt s'' groß, ſo wird die Oeffnung beider Wege nur kurze Zeit dauern, dabei darf aber nicht vergeſſen werden, daß $s'' > s'$ ſein muß, weil der Abzugsweg früher geöffnet werden ſoll als der Zugangsweg.

Iſt die Schieberſtange unmittelbar ohne Zwiſchenhebel, mit der Excentrikſtange verbunden, ſo iſt der Weg, den der Schieber beſchreibt, gleich der doppelten Excentricität, alſo gleich AB (ſ. beiſtehende Figur), wenn ADEBN die Peripherie des Kreiſes iſt, welche der Mittelpunkt der Excenterſcheibe um die Axe beſchreibt; hat die Excentricität nach einander die Lagen CE, CF, CG, ſo ſind die ihnen entſprechenden Wege des Schiebers von ſeiner Mittellage aus die Projectionen CH, CJ, CK, wenn die Excentricität in CB liegt, ſo wird der Schieber das eine Ende ſeiner Bahn erreicht haben. Setzen wir nun $CH = s'$, $CJ = s''$, $CK = s_1$, ſo wird, wenn die Excentricität in CE liegt, der Abzugsweg für den Dampf eröffnet, in der Lage CF wird der Zugangsweg eröffnet, und der Lage CG entſpricht die Umkehr des Kolbens. Verlängert man die Perpendikel FJ und EH bis L und M, ſo giebt CL die Lage der Excentricität für den Augenblick an, in welchem der Dampfzufluß abgeſperrt wird, und CM die Lage entſprechend der Abſperrung des Dampfabfluſſes. Die Zeichnung auf der linken Seite von DN iſt der auf der rechten genau entgegengeſetzt. Für einen Umlauf des Excenters ergeben ſich nun folgende Verhältniſſe. Wenn die Excentricität in CG oder in Cg ſteht, befindet ſich der Kolben an einem Ende ſeiner Bahn, $\sphericalangle DCG = \sphericalangle NCg$ bezeichnet alſo das ſogenannte Voreilen des Schiebers. Bei der Bewegung von CF bis CL, und von Cf bis Cl findet Dampfzufluß ſtatt, bei der Bewegung von CM bis Ce und von Cm bis CE findet vollſtändige Abſperrung ſtatt, und auf dem Wege von CE bis CF, CL bis CM, Ce bis Cf, Cl bis Cm iſt der Abfluß geöffnet, aber der Zufluß verſchloſſen.

Setzen wir nun $\sphericalangle DCE = \alpha'$, $\sphericalangle DCF = \alpha''$, ſo iſt, wenn $CA = S$ iſt,

$$\sin \alpha' = \frac{a - a'}{S}, \quad \sin \alpha'' = \frac{a' + b' - (a + b)}{S}, \quad \ldots\ldots \quad (8)$$

nun iſt aber $\sphericalangle mCE = \sphericalangle MCe = 2\alpha'$, $\triangle eCF = \triangle LCf = 2\alpha''$, $\triangle FCL = \triangle fCl = 2(R - \alpha'')$, und es folgt nun:

Der jedesmalige Dampfzufluß findet ſtatt während eines Drehungswinkels

$$2\,(R-\alpha'') = 2\left(90^0 - A\sin\frac{a''+b'-(a+b)}{S}\right) = 2\,A\cos\frac{a'+b'-(a+b)}{S}$$

Die jedesmalige Abſperrung des Dampfes findet ſtatt bei einer Drehung von

$$2\,\alpha'' = 2\,A\sin\frac{a'+b'-(a+b)}{S}$$

Vollſtändiger Verſchluß beider Dampfwege findet ſtatt bei einer Drehung von

$$2\,\alpha' = 2\,A\sin\frac{a-a'}{S} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9).$$

Mit Hülfe dieſer Formeln kann man nun a, b, a', b' ſo wählen, daß das Verhältniß der Abſperrung des Dampfes das gerade gewünſchte werde. Für den Moment der Umkehr des Kolbens nimmt man gern die Oeffnung des Zuflußweges $= \frac{1}{100}$, und die des Abflußweges $= \frac{1}{20}$ des ganzen Schieberweges, da dieſer nun $= 2\,S$ iſt, ſo ergeben ſich noch folgende Gleichungen:

$$\sigma = \frac{1}{50}\,S.$$

$$s'' - s' + \sigma = \frac{1}{10}\,S.$$

$$(2\,a' + b') - (2\,a + b) = \frac{2}{25}\,S \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10).$$

Aufgabe. Die beiden äußern Dampfwege haben eine Breite von $1^1/_2{}''$ $(= b)$, ihre inneren Ränder einen Abſtand von s'' $(= 2\,a)$, der ganze Schieberweg ſoll $5''$ $(= 2\,S)$ betragen, welche Dimenſionen muß der Schieber ſeiner Länge nach haben, wenn der Dampfzufluß dreimal länger als die Abſperrung dauern ſoll.

Auflöſung. Die Abſperrung des Dampfes dauert alſo jedesmal während einer Drehung der Treibaxe um 45^0, es iſt alſo $\alpha'' = 22^1/_2{}^0$, folglich $\frac{a'+b'-(a+b)}{r} = 0{,}383$. Iſt die Schieberſtange unmittelbar mit der Excentrikſtange verbunden, ſo iſt $r = S = 2{,}5$, es iſt alſo, da $a + b = 1{,}5 + 2{,}5 = 4''$;

$$\frac{a'+b'-4}{2{,}5} = 0{,}383, \text{ oder } a'+b' = 4{,}958.$$

Die dritte Gleichung in (10) giebt:

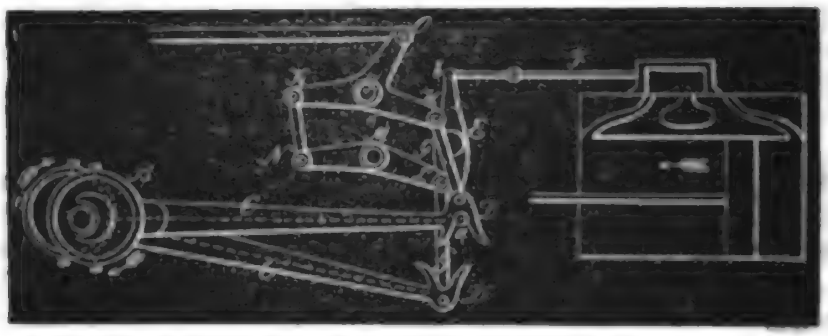
$$2\,a' + b' - 6{,}5 = \frac{2}{25}\,.\,2{,}5 \text{ oder } 2\,a' + b' = 6{,}7.$$ Hieraus folgt $a' = 1{,}742''$ und $b' = 3{,}216$.

Die innere Weite $(2\,a')$ des Dampfſchiebers beträgt alſo 3,48 Zoll, und die Breite eines jeden Schieberfußes iſt 3,22 Zoll. In der Mittellage iſt alſo die Ueberdeckung der Oeffnungen der Dampfwege an der inneren Seite $= a - a' = 0{,}85$ Zoll, und nach der äußeren 0,96 Zoll. Die Stellung des

Excenters gegen den Kurbelradius der Treibaxe wird gefunden nach (7). Es ist $\alpha_1 = A \sin \frac{a' + b' - (a + b) + \sigma}{r} = A \sin \frac{4{,}958 - 4 + 0{,}05}{2{,}5} =$ $A \sin 0{,}403 = 23^0\ 46'$. Die Excentricitätslinie bildet demnach mit der Kurbel einen Winkel von $113^0\ 46'$.

Für unmittelbare Verbindung des Schiebers mit der Schieberſtange iſt $S = r$, d. i. gleich der Excentricität, im anderen Falle iſt aber S kleiner als r. Durch Vorrichtungen, welche weiter unten beſchrieben werden ſollen, kann man den Schieberweg beliebig verkürzen, mit ſolcher Verkürzung ändern ſich aber zugleich die Werthe für α' und α'', alſo auch das Verhältniß der Dampfabſperrung zur Dampfzulaſſung. Wird $S < s'$, ſo wird der Schieber ſich zwar noch etwas hin und herbewegen, die Dampfwege aber gar nicht öffnen.

Umſteuerungsſyſteme. Geben wir nun zu den Umſteuerungsvorrichtungen über, ſo haben wir die früher gewöhnlich angewandte, mittelſt der Klauen oder Gabeln, ſchon oben beſchrieben, ſo daß es nur nöthig iſt, die näheren Verhältniſſe derſelben hier nachzuholen. In beiſtehender Figur bezeichnet A die Treibaxe, B und B' die beiden dicht neben einander befeſtigten Excentern, deren gegen-

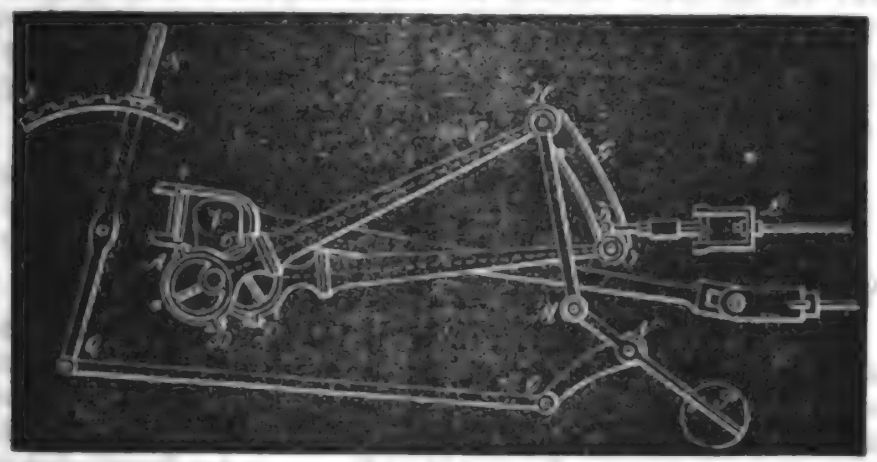


ſeitige Lage eine entgegengeſetzte iſt, ſo daß von den beiden Excenterſtangen C und C' ſtets die eine nach vorn ſchiebt, wenn die andere nach hinten zieht; D und D' ſind die beiden Klauen, die eine D hat den Knopf a des zweiarmigen Hebels E erfaßt, an deſſen anderen Endpunkt b die Schieberſtange F eingelenkt iſt. Der Knopf oder die Warze a paßt genau in die Vertiefung jeder Klaue. Um nun nach Belieben den Knopf a von der einen oder der anderen Klaue erfaſſen zu laſſen, iſt die Klaue D durch die Stange G mit dem Hebel HJK, und die Klaue D' durch die Stange mit dem Hebel LMN verbunden, die beiden anderen Arme dieſer Hebel communiciren mit einander durch das Gelenkſtück KN. Der Hebel HJK hat noch einen dritten Arm JO, an welchen die Zugſtange OP eingelenkt iſt, welche ihrerſeits bis zur Gallerie führt. Soll die Klaue D' anſtatt der Klaue D den Knopf ergreifen, ſo muß in dem Augenblick, in welchem beide Klauen ſenkrecht über einander ſtehen, die Zugſtange in der Richtung von O nach P angezogen werden, dadurch ſenken ſich die linken Arme der beiden parallelen Hebel HJK und LMN, die linken heben ſich und ziehen durch die Stange G und G' die Excenterſtangen in die Höhe; die Klaue D läßt dann den Knopf a los, die Klaue D' ergreift ihn und führt ihn ſogleich in der entgegengeſetzten Rich-

lung weiter. Der Einfluß dieſes Wechſels auf das Kolbenſpiel iſt ſchon oben erörtert. Unſere gegenwärtige Zeichnung unterſcheidet ſich von der in Fig. II. S. 586 gegebenen Andeutung der Umſteuerungsvorrichtung dadurch, daß dort die beiden Stangen, durch welche die Klauen gehoben und geſenkt werden ſollen, an einem einzigen Hebel befeſtigt ſind, ſo daß die eine kurz und die andere lang ſein muß. Die Anwendung zweier gleichen und durch ein Gelenkſtück K N verbundenen Hebel bietet den Vortheil, die Stange G und G' gleich lang und dadurch die Bewegung der Klauen übereinſtimmend zu machen, der Eingriff der Klauen wird dann ſicherer. Die Excenter ſelbſt beſtehen wie gewöhnlich aus je einer Excentrikſcheibe, welche beide dicht neben einander auf der Treibaxe feſtgekeilt oder feſtgeſchraubt ſind, aus je einem Excentrikringe, der, um nicht verrückt zu werden, in eine Spur im Umfange der Scheibe eingreift, und aus je einer Excentrikſtange, welche mit dem Ringe unbeweglich verbunden iſt. Die Excentrikſtangen ſind 5 bis 7' lang, $^3/_4$ bis 1" dick, in der Nähe des Ringes 3 bis 4", am Ende 2" breit, die Schieber haben 10 bis 12" im Durchmeſſer und ſind 2 bis 3" dick.

Da der Hebel E die Bewegung der Excentrikſtange auf die Schieberſtange im entgegengeſetzten Sinne überträgt, ſo iſt jetzt der Winkel, den die Excentricitätslinie mit der Kurbellage macht, nicht $90^0 + \alpha_1$, ſondern $90^0 - \alpha_1$, wenn α_1 das Maß für das Voreilen des Schiebers angiebt, auch geht dieſe Linie der Kurbel nicht um dieſen Winkel voraus, ſondern ſie folgt ihr. Das Voreilen des Schiebers bewirkt auch, daß die beiden zu einander gehörigen Excentriken nicht genau entgegengeſetzte Lage haben, ſo daß die Excentricitätslinien einen Winkel von 180^0 mit einander bilden, ſondern ſie bilden nur einen Winkel von $180^0 - 2\alpha_1$, welcher Winkel in unſerem Falle durch die Kurbellage halbirt wird.

Denken wir uns die Flügel der beiden Klauen paarweiſe, ſo wie ſie einander gegenüberſtehen, durch zwei gebogene Schienen verbunden, ſo erhalten wir



die Stephenſon'ſche Couliſſe, welche neuerdings angewandt wird. Vorſtehende Figur giebt davon eine Vorſtellung. C iſt die Treibaxe, A B und C D die beiden Excentriken, E und F ſind die beiden Excentrikſtangen, ihre Endpunkte

ſind durch den Rahmen G mit einander ſo verbunden, daß an den Verbindungsſtellen H und J eine Drehung möglich bleibt, der Rahmen dient für das Querhaupt K der Schieberſtange als Führung. Die Stange H M verbindet die eine Excentrikſtange mit dem Winkelhebel M N O, der in einfacher, geeigneter Weiſe von dem Führer bewegt werden kann, wenn eine Umſteuerung eintreten ſoll. P iſt ein Gegengewicht, welches dazu dient, den Steuerrahmen in ſeiner gewöhnlichen Lage feſtzuhalten. Der Rückhebel R Q ſteht in Verbindung mit einem gezahnten Kreisbogen, an welchem er durch einen Riegel in verſchiedenen Stellungen fixirt werden kann.

Die Stellung der einzelnen Maſchinentheile in der Zeichnung entſpricht dem regelmäßigen Gange der Locomotive, wenn wir nämlich die rechte Seite der Zeichnung als die vordere anſehen. Soll eine Umſteuerung eintreten, ſo muß der Rückhebel R Q angezogen werden, die Stange Q O würde nach vorn ſchieben, der Arm N M ſich ſenken, mit ihm würde auch der Steuerrahmen herabgehen und das Querhaupt K würde dann ſeinen Angriff in der Nähe von H haben, alſo der Bewegung der Excentrikſtange E folgen. Das jetzt erhobene Gegengewicht P wird durch ſeinen Zug nach unten die Rückkehr zu regelmäßiger Steuerung erleichtern.

Der Vortheil, den dieſe Umſteuerungsvorrichtung gewährt, beſteht nicht blos in der größeren Sicherheit, mit welcher der Wechſel vorgenommen werden kann, ſondern beſonders darin, daß man jeden Theil des Steuerrahmens zur Steuerung benutzen kann, wenn man den Rückhebel auf dem gezahnten Kreisbogen an der entſprechenden Stelle befeſtigt. Theilen die Endpunkte H und J des Rahmens die Bewegung der Excenterſtangen E und F, ſo wird die entgegengeſetzte Bewegung dieſer Endpunkte in der Mitte des Rahmens faſt ausgeglichen ſein und von hier aus nach den Endpunkten hin zunehmen. Man kann ſomit durch die Couliſſe dem Schieber eine beliebig kleinere Bewegung ertheilen, als die, welche ihm jede Excentrikſtange für ſich geben würde, und wir haben oben geſehen, daß mit der Verkürzung des Schieberweges eine Verkürzung in der Dauer des Dampfzufluſſes eintritt. So bietet alſo die Stephenſon'ſche Couliſſe zugleich ein einfaches Mittel für eine variable Dampferpanſion, ſo daß der Führer im Stande iſt, die Expanſionswirkung des Dampfes nach dem jedesmaligen Bedürfniß zu reguliren.

Da in der Einrichtung der Figur S. 615 die Schieberſtange unmittelbar vom Rahmen bewegt wird, ſo folgt, daß die Excentricität C a und C b mit der Lage der Kurbel V ſtumpfe Winkel bilde von der Größe $90^0 + \alpha_1$, ſo wie daß jetzt die ſteuernde Excentricität der Kurbel vorhergeht.

Es iſt oben davon die Rede geweſen, daß man durch eine entſprechende Geſtaltung der Schieberfüße eine frühere Dampfabſperrung, d. i. eine Dampferpanſion erreichen kann, doch hat man ſich zu dieſem Zweck bei feſtſtehenden Maſchinen auch der ſogenannten Expanſionsſchieber bedient, nämlich zweiter Schieber, die auf den gewöhnlichen Dampfſchiebern liegen und den Dampfzufluß früher abſperren, als dieſe es für ſich thun würden. Auch auf Locomotivmaſchinen iſt dieſe Einrichtung übergegangen, wie die umſtehende Figur zeigen kann. Der Dampfſchieber A iſt zweimal durchbohrt, und kann nur durch dieſe Canäle, die auf

ſeiner oberen Seite münden, den Dampf in die Dampfwege einlaſſen. Hier liegt nun auch der Expanſionsſchieber B, auf deſſen Stange zwei Klötze a und b angebracht ſind. Wegen der ſelbſtſtändigen Bewegung des Expanſionsſchiebers können dieſe Klötze diejenige Durchbohrung des Schiebers, welche eben den Dampf durchläßt, früher bedecken, ehe ſie ſelbſt von der Mündung des Dampfweges fort-

rückt. Der Augenblick, in welchem es geſchieht, hängt von der Größe und Lage der beiden Klötze ab. Die Bewegung des Expanſionsſchiebers iſt hier mit der Bewegung des Kolbens verknüpft, da die Kolbenſtange und die Schieberſtange durch den um C drehbaren Hebel DE verbunden ſind, ſo daß der Expanſionsſchieber die entgegengeſetzte Bewegung macht. Bei der in der Zeichnung angedeuteten Stellung bewegt ſich der Expanſionsſchieber nach vorn und iſt im Begriff die Schieberdurchbohrung zu bedecken, durch welche noch der Dampf vor den Kolben gelangen kann. Um die Expanſion variabel zu machen, hat die Spindel, da wo die beiden Klötze ſitzen, ein rechtes und linkes Gewinde, am Ende aber außerhalb der Dampfkammer ein Schnecken- oder Stirnrad d, welches ſich vom Stande des Führers aus ſtellen läßt. Die dadurch bewirkte Annäherung und Entfernung der beiden Klötze a und b läßt die Abſperrung des Dampfes früher oder ſpäter eintreten.

Beifolgend laſſen wir die beſtimmten Dimenſionen der Haupttheile einiger wirklich ausgeführten Locomotiven folgen.

Tabelle der Dimensionen der Hauptheile einiger Locomotiven *).

Bezeichnung der Maschinen	Namen der Erbauer	d Kolbendurchmesser	L Kolbenhub	D Durchmesser d. Treibr.	Zahl d. Räder	Heizfläche: Rostfläche	Entfernung des Rostes v. d. Röhren	Heizfläche: Innerer Durchmesser der Röhren	Heizfläche: Länge der Röhren	Heizfläche: Zahl der Röhren	Heizfläche: direct	Heizfläche: indirect	Heizfläche: total	Gewicht der arbeit. Masch.	Belastung d. Treibr.	Gewicht der laufenden Maschine und des Tenders
		m	m	m		D.-M.	m	m	m		D.-M.			Tonnen		
Denys Papin	Jackson	0,280	0,410	1,543	4	0,653	0,450	0,041	2,10	82	3,32	22,16	25,48	9,25	5,10	14,00
La Seine	Bury	0,280	0,415	1,546	4	0,659	0,475	0,052	2,36	76	3,07	30,00	33,07	9,00	5,00	14,00
Tayleur	Tayleur	0,297	0,406	1,677	6	0,620	0,420	0,041	2,43	107	3,72	33,48	37,20	12,00	5,40	8,00
Etna	Haigh-Foundry	0,290	0,406	1,670	6	0,740	0,360	0,041	2,45	121	4,13	38,24	42,37	14,00	6,30	20,00
Jean Bart	Hawthorn	0,303	0,460	1,520	4	0,639	0,500	0,041	2,50	104	3,75	33,48	37,23	11,00	6,00	17,00
Stephenson	Stephenson	0,303	0,460	1,680	6	1,087	0,310	0,054	2,56	80	4,62	34,73	39,35	13,50	6,10	19,00
Atlas	Sharp u. Roberts	0,318	0,460	1,520	6	0,767	0,480	0,041	2,57	117	4,41	38,44	42,85	13,50	6,10	20,00
Alsace	Stehelin u. Huber	0,316	0,460	1,830	6	0,851	0,450	0,048	2,67	104	4,29	41,92	46,21	14,00	6,30	19,00
Gauloise	Cavé	0,330	0,490	1,670	6	1,030	0,630	0,050	2,60	99	5,83	40,49	46,32	15,00	6,80	22,00
Bucéphale	Rothwell	0,330	0,432	1,670	6	0,870	0,460	0,030	2,62	111	4,56	46,65	51,21	15,00	6,80	22,00
Creusot	Gebr. Schneider	0,330	0,460	1,670	6	1,020	0,550	0,048	2,69	115	5,60	44,88	50,48	15,50	7,00	23,00
Alcide	Stehelin u. Huber	0,330	0,460	1,830	6	0,870	0,550	0,048	2,75	115	5,02	47,72	52,74	15,00	6,80	22,00
Vesta	Stephenson	0,330	0,450	1,680	6	1,039	0,480	0,054 / 0,030	2,84	103 / —8	5,69	46,75	52,44	15,00	6,80	22,00
Exposition	Gebr. Schneider	0,330	0,460	1,839	6	1,150	0,600	0,040	2,70	138	5,98	46,94	52,92	15,00	6,80	22,00
Versailles	Jackson	0,330	0,460	1,670	6	0,972	0,550	0,042	2,56	135	5,33	52,71	58,04	15,00	6,80	22,00
Vesuve	Sharp u. Roberts	0,330	0,460	1,680	6	1,102	0,550	0,040	2,55	162	5,83	52,00	57,83	15,00	6,80	22,00
Atlas	Stephenson	0,304	0,405	1,320	4	0,860	0,430	0,041	2,40	63	5,30	20,27	25,57	11,00	6,00	17,00
Vesta	"	0,280	0,405	1,520	4	0,660	0,510	0,041	2,14	80	4,27	23,79	28,06	9,00	5,00	14,00
Nr. 130	"	0,316	0,405	1,520	6	0,770	0,500	0,041	2,41	111	4,34	36,46	40,80	13,00	5,90	18,00
Harvey Combe	"	0,304	0,456	1,520	6	0,950	0,500	0,041	2,21	102	4,71	31,57	36,28	13,50	6,10	18,00
Bury	Bury	0,304	0,456	1,670	4	0,760	0,480	0,054	2,44	86	3,65	33,17	38,82	9,00	5,00	15,00
North Star	Stephenson	0,403	0,405	2,128	6	0,930	0,500	0,041	2,59	167	6,52	60,85	67,37	19,00	8,55	27,00
Celus	Tayleur	0,358	0,405	2,432	6	"	"	"	"	"	4,68	49,69	54,37	15,50	8,30	26,00
Venus	"	0,305	0,405	2,432	6	"	"	"	"	"	4,19	42,92	47,11	18,00	8,10	23,00

*) Aus dem Guide du mécanicien-conducteur de machines locomotives, p. Flachat et Petiet.

III. Theorie der Locomotivbewegung.

A. Theorie der Dampfwirkung nach Pambour.

Die Theorie der Dampfwirkung gründet sich auf die Vorstellung, daß für den Gleichgewichtszustand der Dampfmaschine die Arbeit der Dampfwirkung während eines Kolbenhubes gleich der gleichzeitigen Arbeit der gegen den Kolben gerichteten Widerstände sein müsse, und zweitens; daß die im Cylinder verbrauchte Dampfmenge gleich der gleichzeitig im Kessel erzeugten sei.

Es bezeichne F den Querschnitt des Kolbens, L seine Hubhöhe, l seinen Weg bei offener Communikation mit dem Kessel, a die Höhe des freien Cylinderraumes, der am Ende jedes Hubes zwischen dem Kolben und der Stirnwand des Cylinders bleibt; P sei der Druck des Dampfes auf die Flächeneinheit im Kessel, P' der Dampfdruck auf die Flächeneinheit des Kolbens bei freiem Zutritt des Dampfes und p sei dieser Druck nach der Absperrung, wenn der Kolben den Weg $x > l$ zurückgelegt hat, M sei das Volumen des in der Zeiteinheit in wirksamen Dampf verwandelten Wassers, Q der Gegendruck gegen den Kolben, und m bezeichne das relative Volumen des Dampfes vom Druck P', v die mittlere Geschwindigkeit des Kolbens.

Die in der Zeiteinheit erzeugte Menge Dampf von der Spannung P' beträgt m M, jeder Cylinder verbraucht während eines Hubes die Dampfmenge $F(l + a)$ von der Spannung P', die Dauer eines Kolbenhubes ist $\frac{L}{v}$, folglich die in der Zeiteinheit von beiden Cylindern aufgenommene Dampfmenge $\frac{F(l + a)v}{L}$, hieraus folgt:

$$m M = \frac{F(l + a)v}{L} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

Die Arbeit des Dampfes, während der Cylinder in offener Verbindung mit dem Kessel ist, beträgt $FP'l$, denn der Druck gegen den Kolben ist FP', der Weg l; hat der Kolben den Weg x zurückgelegt, so ist die Dampfspannung noch p, also die Arbeit während des unendlich kleinen Weges dx ist $F p dx$, folglich die Arbeit während der Absperrung überhaupt $F \int_l^L p\,dx$. Die Gesammtarbeit des Dampfes ist also $FP'l + F \int_l^L p\,dx$, dagegen ist die Gesammtarbeit des Widerstandes Q gleich FQL. Es ist also, wenn wir mit F abkürzen:

$$P'l + \int_l^L p\,dx = QL \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Wenn sich der abgesperrte Dampf ausdehnt, so nimmt seine Spannung ab, aber die Abnahme erfolgt nicht nach dem Mariottischen Gesetze, so daß Dampfsperrung und Volumen im umgekehrten Verhältniß ständen. Der Dampf verliert bei seiner Ausdehnung an freier Wärme, bleibt aber nach den Versuchen von

Pambour stets im Zustande der Sättigung, also im Maximum der seiner Temperatur entsprechenden Spannung. Für nicht zu große Temperaturdifferenzen, also auch für nicht zu große Spannungsdifferenzen kann man die Relation zwischen der Dampfspannung p und dem relativen Dampfvolumen V ausdrücken durch die Gleichung:

$$V = \frac{1}{\alpha + \beta P} \quad \ldots \quad (3).$$

α und β haben bestimmte Werthe, die jedoch für niedere Dampfspannungen andere sind, als für hohe. Ist p ausgedrückt in Pfunden bezogen auf den preußischen Quadratzoll, so ist

für Dampf von niedrigem Druck $\alpha = 0{,}00006$, und $\beta = 0{,}0000342$ und
für Dampf von hohem Druck $\alpha = 0{,}000142$ und $\beta = 0{,}0000322$.

Die letzteren Werthe werden wir bei der nachfolgenden Berechnung zum Grunde legen müssen.

Der Dampf im Cylinder hat im Momente der Absperrung das Volumen F (a + l) und die Spannung P', später, wenn der Kolben den Weg x zurückgelegt hat, hat er das Volumen F (a + x) und die Spannung p; hieraus folgt

$$\frac{a + l}{a + x} = \frac{\alpha + \beta p}{\alpha + \beta P'} \text{ und hieraus}$$

$$p = \frac{(a + l)(\alpha + \beta P')}{(a + x)\beta} - \frac{\alpha}{\beta} \quad \ldots \quad (4).$$

Jetzt ist:

$$\int_l^L p\,dx = \frac{(a + l)(\alpha + \beta P')}{\beta} \int_l^L \frac{dx}{a + x} - \frac{\alpha}{\beta} \int_l^L dx =$$

$$\frac{(a + l)(\alpha + \beta P')}{\beta} \log \text{nat} \frac{L + a}{l + a} - \frac{\alpha}{\beta}(L - l).$$

Hiernach geht die Gleichung (2) über in folgende:

$$QL = P'l + (a + l)\left(\frac{\alpha}{\beta} + P'\right) \log \text{nat} \frac{L + a}{l + a} - \frac{\alpha}{\beta}(L - l) \text{ oder}$$

$$QL = (a + l)\left(\frac{\alpha}{\beta} + P'\right)\left[\frac{l}{l + a} + \log \text{nat} \frac{L + a}{l + a}\right] - \frac{\alpha}{\beta} L \quad \ldots \quad (5).$$

Der Coefficient m in Gl. (1) giebt das relative Dampfvolumen für die Spannung P' an, es ist also

$$m = \frac{1}{\alpha + \beta P'}; \text{ es folgt mithin aus (1)}$$

$$\frac{M}{\alpha + \beta P'} = \frac{F(l + a)v}{L} \quad \ldots \quad (6).$$

Eliminirt man aus (5) und (6) den Ausdruck $\alpha + \beta P'$, so folgt, wenn wir noch mit L kürzen,

$$Q = \frac{M}{Fv\beta}\left[\frac{l}{l + a} + \log \text{nat} \frac{L + a}{l + a}\right] - \frac{\alpha}{\beta}, \text{ oder:}$$

$$v = \frac{M}{F(\alpha+\beta Q)}\left[\frac{l}{l+s} + \log\text{nat}\,\frac{L+s}{l+s}\right] \quad \ldots\ldots (7).$$

Dieſe Gleichung zeigt, daß die Geſchwindigkeit des Dampfkolbens abhängig iſt von der Menge M des in der Secunde verdampften Waſſers, von dem Querſchnitt F der Kolbenfläche, von dem zu überwindenden Widerſtande Q und von dem Verhältniß $\frac{l}{L}$ der Abſperrung, aber unabhängig bleibt ſie von der Spannung P des Dampfes im Keſſel.

Der Widerſtand Q gegen die Einheit der Kolbenfläche wird gebildet aus der Kraft zur Bewegung des Wagenzuges q, aus der zur Bewegung der Locomotive b, aus der Kraft zur Ueberwindung des Luftwiderſtandes, welche proportional mit dem Quadrate der Geſchwindigkeit v iſt und durch γv^2 bezeichnet werden kann. Die Summe $q + b + \gamma v^2$ iſt ein Maß für die von der Locomotive zu überwindende Laſt. Ferner gehört zu dem Widerſtande Q das Hinderniß der Reibung, der Druck der atmoſphäriſchen Luft, das Hinderniß des Blaſerohrs und das der Waſſerpumpe. Die Reibung beſteht aus der Reibung f der leergehenden Maſchine und der ſogenannten additionellen Reibung, d. i. einem Bruchtheile μ der eigentlichen Maſchinenlaſt, wir können alſo die Geſammtreibung ausdrücken durch $f + \mu(q + b + \gamma v^2)$; den Gegendruck der Atmoſphäre bezeichnen wir mit s, die Wirkung des Blaſerohrs iſt nach Pambour's Verſuchen mit v proportional und ſei δv, den Widerſtand der Waſſerpumpe wollen wir mit k bezeichnen. Hiernach iſt nun:

$$Q = (1+\mu)(q + b + \gamma v^2) + f + s + k + \delta v \quad \ldots\ldots (8).$$

Setzen wir nun der Kürze wegen

$$\frac{l}{l+s} + \log\text{nat}\,\frac{L+s}{l+s} = z \quad \ldots\ldots (9),$$ ſo folgt aus (7)

$$v = \frac{Mz}{F} \cdot \frac{1}{\alpha+\beta[(1+\mu)(q+b+\gamma v^2)+f+s+k+\delta v]} \quad \ldots\ldots (10).$$

Hieraus ergiebt ſich:

$$Fq = \frac{Mz}{\beta(1+\mu)v} - \frac{F}{1+\mu}\left(\frac{\alpha}{\beta}+f+s+k+\delta v\right) - F(b+\gamma v^2) \ldots (11)$$

$$M = \frac{Fv[\alpha+\beta(1+\mu)(q+b+\gamma v^2)+\beta(f+s+k+\delta v)]}{2} \quad \ldots\ldots (12)$$

$$E = Fqv = \frac{Mz}{\beta(1+\mu)} - \frac{Fv}{1+\mu}\left(\frac{\alpha}{\beta}+f+s+k+\delta v\right) - Fv(b+\gamma v^2) \ldots (13)$$

In der letzten Formel bezeichnet E den Nutzeffect.

Die Gleichung (13) zeigt, daß der Effect am größten iſt, wenn v am kleinſten iſt, und aus (11) folgt, daß für dieſen Fall die Kraft q für die Fortbewegung des Zuges im Maximum iſt. Aus (6) folgt:

$$v = \frac{ML}{F(l+s)(\alpha+\beta P')}$$

Dieſe Formel zeigt, daß v dann am kleinſten iſt (bei einer gegebenen Abſperrung l), wenn P' am größten iſt, P' kann aber nicht größer werden als P, ſetzen wir $P' = P$, ſo geht v in ſein relatives Minimum v' über, und es iſt:

$$v' = \frac{ML}{F(l+a)(\alpha+\beta P)} \quad \ldots\ldots (14).$$

Iſt q' der dem Minimum entſprechende Werth von q, ſo folgt:

$$q' = \frac{(\mu+\beta P)(l+a)z}{\beta(v+\mu)L} - \frac{1}{1+\mu}\left(\frac{\alpha}{\beta}+f+s+k+\delta v'\right) - (b+\gamma v'^2) \ldots (15).$$

In der Regel wird bei der Locomotivſteuerung keine Dampfexpanſion angewandt, es iſt alsdann nahe $l = L$ und $z = \frac{L}{L+a}$.

Alsdann iſt:

$$v = \frac{ML}{F(L+a)} \cdot \frac{1}{\alpha+\beta[(1+\mu)(q+b+\gamma v^2)+f+s+k+\delta v]} \ldots (16) \text{ und}$$

$$Fq = \frac{ML}{\beta(1+\mu)v(L+a)} - \frac{F}{1+\mu}\left(\frac{\alpha}{\beta}+f+s+k+\delta v\right) - F(b+\gamma v^2) \ldots (17).$$

$$v' = \frac{ML}{F(L+a)(\alpha+\beta P)} \quad \ldots (18)$$

$$q' = \frac{1}{1+\mu}(P-f-s-k-\delta v') - (b+\gamma v'^2) \quad \ldots\ldots (19).$$

Bezeichnet D den Durchmeſſer der Treibräder und V die Geſchwindigkeit der fortſchreitenden Bewegung des Zuges, ſo iſt der Weg, der bei einer Umdrehung der Treibräder zurückgelegt wird, $D\pi$, die dazu verwandte Zeit $\frac{D\pi}{V}$; da nun die Zeit für einen Kolbenhub $\frac{L}{v}$ halb ſo groß ſein muß, ſo folgt:

$$\frac{D\pi}{V} = \frac{2L}{v} \text{ oder}$$

$$V = \frac{D\pi}{2L} v \quad \ldots\ldots (20).$$

Die Kraft q zur Bewegung des Wagenzuges iſt auf horizontaler Bahn die Kraft zur Ueberwindung der Zapfenreibung bei ſämmtlichen Wagenrädern und der rollenden Reibung der Räder auf den Schienen. Für Eiſenbahnwagen iſt die Zapfenreibung überwiegend im Vergleich mit der rollenden Reibung, beide aber ſind dem Drucke proportional und ihre Größe kann einem beſtimmten Bruchtheile ν des geſammten Wagenzuges gleich geſetzt werden. Nach Pambour genügt zur Fortbewegung eines Eiſenbahnwagens eine Zugkraft von 6 Pfund auf die Tonne (2240 Pfd.), deshalb hätte hiernach ν einen Werth $\frac{6}{2240} = \frac{1}{373}$; der Sicherheit wegen nimmt man aber dieſen Werth oft größer, und ſetzt dann

$\nu = \frac{1}{250}$. Bewegt ſich der Zug auf einer ſchiefen Ebene aufwärts, ſo genügt es nicht, nur die Reibung zu überwinden, es muß das Gewicht des Wagens ſelbſt gehoben werden und die dazu nöthige Kraft iſt $G \sin \alpha$, wenn G das Gewicht des Wagenzuges und α den Neigungswinkel der Bahn bezeichnet, da α ſtets nur ſehr klein iſt, ſo kann man $\sin \alpha = \frac{1}{n}$ ſetzen, wenn dieſer Bruch das Steigungsverhältniß der Bahn angiebt, dieſe alſo bei n Fuß Horizontallänge um 1 Fuß ſteigt. Senkt ſich die Bahn abwärts, ſo kommt die Kraft $G \sin \alpha = \frac{1}{n} G$ der Zugkraft zu Hülfe, da in Folge der Schwere der Wagenzug ſich ſelbſt zu bewegen ſtrebt. Zur Fortbewegung des Zuges dient alſo die Kraft $\left(\nu \pm \frac{1}{n}\right) G$, wo das obere Zeichen bei ſteigender, das untere bei fallender Bahn in Geltung tritt. Dieſe Kraft, nachdem ſie auf die Einheit der Kolbenfläche reducirt war, hatten wir mit q bezeichnet, für die ganze Kolbenfläche $F = 2\frac{d^2\pi}{4} = \frac{d^2\pi}{2}$, wenn d den Durchmeſſer *eines* Kolbens bezeichnet, iſt die Kraft $\frac{d^2\pi}{2} \cdot q$, und ihre Arbeit während eines doppelten Kolbenhubes oder einer Treibradumdrehung iſt $\frac{d^2\pi}{2} q \,.\, 2L = L\,q\,d^2\pi$. Obige Kraft $\left(\nu \pm \frac{1}{n}\right) G$ legt in derſelben Zeit den Weg $D\pi$ zurück, ihre Arbeit iſt $\left(\nu \pm \frac{1}{n}\right) G \,.\, D\pi$, und da beide Ausdrücke einander gleich ſein müſſen, ſo folgt:

$$q = \frac{\left(\nu \pm \frac{1}{n}\right) GD}{L\,d^2} \quad \ldots \quad (21).$$

Bezeichnet G' das Gewicht der Locomotive mit dem Tender, ſo folgt für die Kraft b der Werth in derſelben Weiſe:

$$b = \frac{\left(\nu \pm \frac{1}{n}\right) G'D}{L\,d^2} \quad \ldots \quad (22).$$

Nach *Vambour's* Verſuchen beträgt der Widerſtand der Luft gegen einen Wagenzug von mittlerer Oberfläche bei 10 engl. Meilen Geſchwindigkeit in der Stunde 33 Pfd. 10 Meilen in der Stunde ſind $14^2/_3'$ in der Secunde, und da der Luftwiderſtand im quadratiſchen Verhältniß mit der Geſchwindigkeit wächſt, ſo beträgt er für 1′ Geſchwindigkeit $\frac{33}{(14^2/_3)^2} = 0{,}153$ Pfd. Bei V' Geſchwindigkeit iſt dieſer Widerſtand $0{,}153\ V^2$ und da man für jeden angehängten Wagen noch $^1/_3$ dieſes Werthes hinzuzufügen pflegt, ſo beträgt er bei einer Anzahl von

w Wagen: $\left(1 + \frac{w}{8}\right) . 0{,}153\ V^2$. Reducirt wir auch dieſen Widerſtand auf die Einheit der Kolbenfläche, ſo folgt:

$$\gamma v^2 = \left(1 + \frac{w}{8}\right) . \frac{0{,}153\ V^2 . D}{L d^2} = \frac{\varepsilon V^2 D}{L d^2} \quad . . . . (23),$$

wobei wir

$$\varepsilon = 0{,}153 \left(1 + \frac{w}{8}\right) \quad . . . . (24) \text{ ſetzen wollen.}$$

In den Formeln 21 — 24 muß d in Zollen genommen werden.

Den Widerſtand der Reibung der leergehenden Maſchine findet Pambour zu 1,25 Pfd. für den engl. Quadratzoll, welche Werthe wir auch für preuß. Maß und Gewicht feſthalten wollen, da dieſe ſich von den engl. wenig unterſcheiden. Für die additionelle Reibung giebt Pambour an $\mu = 0{,}137$ für Maſchinen mit ungekuppelten und $\mu = 0{,}215$ für Maſchinen mit gekuppelten Rädern. Gewöhnlich nimmt man an, daß in der additionellen Reibung bereits der Widerſtand, den die Waſſerpumpe bildet, mit einbegriffen ſei, und läßt dann k aus den Gleichungen fort. Uebrigens wird k abhängen von M und von P, von der Waſſermenge, die in der Zeiteinheit verdampft, und von der Spannung der Dämpfe im Keſſel. Nehmen wir an, das Waſſer würde ſtetig dem Keſſel zugeführt, und der in den Keſſel eintretende Strahl habe einen Querſchnitt F', ſo findet derſelbe einen Widerſtand $= 144\ F' P$. Da nun die in der Zeiteinheit dem Keſſel zugeführte Waſſermenge $\frac{4}{3}$ M beträgt, da von dem verbrauchten Waſſer nur 75° in Dampf übergehen, ſo hat obiger Waſſerſtrahl eine Länge $= \frac{4\,M}{3\,F'}$, die Arbeit zu ſeiner Einführung in den Keſſel beträgt alſo: $\frac{4\,M}{3\,F'} . 144\ F' P = 192\ PM$. Da hierdurch auf die Kolbenfläche $2 . \frac{d^2 \pi}{4}$ ein Druck k hervorgebracht werden ſoll, ſo folgt:

$$192\ PM = \frac{d^2 \pi}{2} . v k \text{ oder}$$

$$k = \frac{384\ PM}{\pi\ d^2 v} = 122 \frac{PM}{d^2 v} = 192 \frac{PMD}{L d^2 v} \quad . . . . (25).$$

Auch hier iſt d in Zollen zu nehmen.

Da das Waſſer aber nicht gleichmäßig in den Keſſel gepumpt wird, ſo kann zuweilen dieſer Widerſtand ganz wegfallen, oft aber bis auf das Dreifache des angegebenen Werthes ſteigen, für dieſen Fall können wir $k = 576 \frac{PMD}{L d^2 v}$ ſetzen.

Ferner bezeichnet s den Atmoſphären-Druck, alſo iſt

$$s = 15 \text{ Pfund} \quad . . . . (26).$$

Der Gegendruck von Seite des Blaſerohrs gegen den Quadratzoll der Kolbenfläche iſt abhängig von der Menge M des verdampften Waſſers, dem Quer-

schnitt a der Blasrohröffnung und der Kolbengeschwindigkeit v. Pambour's Versuche geben dafür das Resultat:

$$\delta v = 27 \frac{M}{a} v = 17 \frac{L M}{D a} V \quad \ldots \quad (27).$$

Hierbei ist a in Quadratzollen, v in Fußen zu nehmen.

Was nun die Verdampfungsfähigkeit des Kessels betrifft, so haben wieder Pambour's Versuche ergeben, daß im Durchschnitt auf 1 □′ der Heizfläche (der Gesammtfläche, nicht der reducirten) bei einer Geschwindigkeit von 20 engl. Meilen in der Stunde 0,2 Cubikfuß Wasser verdampft werden, bei einer größeren Geschwindigkeit von n Meilen, beträgt dieses Quantum $0{,}2 \sqrt[4]{\frac{n}{20}}$ Cubikfuß. Bezeichnen wir nun mit V die Geschwindigkeit der Locomotive in Fußen, so nimmt der letzte Werth etwa die Gestalt $0{,}2 \sqrt[4]{\frac{V}{30}}$ an, und bezeichnet nun H die gesammte Heizfläche des Kessels, so wäre:

$$H = \frac{60 . 60 . M}{0{,}2 \sqrt[4]{\frac{V}{30}}} = 18000\, M \sqrt[4]{\frac{30}{V}} \quad \ldots \quad (28).$$

Hierbei ist angenommen, daß die directe Feuerfläche sich zur indirecten wie 1 : 10 verhält.

Um die Anwendung vorstehender Formeln zu zeigen, wollen wir die Berechnung einiger Aufgaben folgen lassen.

1. Aufgabe. Es soll von der Locomotive Atlas von Sharp und Roberts, deren Dimensionen in der oben mitgetheilten Tabelle gegeben sind, berechnet werden, welches die größte Last ist, die sie auf horizontaler Bahn fortziehen kann, und welche Geschwindigkeit sie dieser Last zu ertheilen vermag, wenn der Dampf im Kessel bis auf 7 Atmosphären angespannt wird.

Auflösung. Die gesammte Heizfläche des Kessels beträgt 42,85 Quadratmeter = 435 Quadratfuß, hieraus folgt nach (28) die Menge des in der Secunde verdampfbaren Wassers $M = \frac{H}{18000} = 0{,}0242$ Cubikfuß, in der Minute also 1,446 Cubikfuß oder 95,436 Pfund. Die kleinste Geschwindigkeit v′ des Kolbens bei vollem Dampfverbrauch und ohne Anwendung der Expansion, ergiebt sich aus Gl. (18) $v' = \frac{M L}{F (L + a) (\alpha + \beta P)}$. M ist = 0,0242, wie oben berechnet; L ist = 0,460 m = 1,466′; a der lineare freie Raum im Cylinder zwischen dem Kolben und der Stirnwand des Cylinders, wenn der Kolben am Ende seiner Bahn ist, ist in der Regel = $\frac{1}{20}$ L, also ist $\frac{L}{L + a} = \frac{20}{21}$.

Ferner ist $F = \frac{1}{2} d^2 \pi = 1{,}612$ Quadratfuß, denn d ist gleich 0,318 m oder

1,013′. Ferner ist, wie oben angegeben, $\alpha = 0{,}000142$ und $P = 7 . 15 = 105$. Es ist nun $\alpha + \beta P = 0{,}003523$ und $v = \frac{0{,}0242 . 20}{1{,}612 . 21 . 0{,}003523} = 4{,}06$.

Die Geschwindigkeit V der Locomotive bestimmt sich nun nach (20), da $D = 1{,}52^m = 4{,}843'$ zu: $V = \frac{D . \pi v}{2L} = 21{,}1'$. Mit dieser Geschwindigkeit wird die Locomotive immer noch eine deutsche Meile in 19 Minuten zurücklegen.

Um für diese kleinste Geschwindigkeit das Gewicht des fortzuschaffenden Zuges zu finden, suche man zunächst q′ aus (19) zu finden. Es ist

$$q' = \frac{1}{1+\mu}(P - f - s - k - \delta v') - (b + \gamma v^2).$$

Es ist μ für nicht gekuppelte Räder gleich 0,137; $P = 105$; $f = 1{,}25$ Pfd.; $s = 15$ Pfd.; k folgt aus (25)

$$922 . \frac{PM}{d^2 . v} = \frac{122 . 105 . 0{,}0242}{144 . 1{,}026 . 4{,}06} = 0{,}518 \text{ Pfd.}$$

Setzen wir die Blasrohröffnung gleich 4 Quadratzoll, so folgt nach (27)

$$\delta v = 27 . \frac{0{,}0242 . 4{,}06}{4} = 0{,}658 \text{ Pfd.}$$

Nehmen wir ferner an, die Last wäre auf 16 Wagen vertheilt, so folgt aus (23) und (24)

$$\varepsilon = 0{,}46 \text{ und } \gamma v^2 = 0{,}46 . \frac{V^2 D}{L d^2} = 4{,}54.$$ Den Werth für b finden wir aus (22).

Das Gesammtgewicht der Locomotive mit dem Tender beträgt $G' = 33{,}5$ Tonnen, bei horizontaler Bahn ist $\frac{1}{n} = o$, setzen wir $v = \frac{1}{370}$, so folgt, da d in Zollen ausgedrückt werden muß:

$$b = \frac{33{,}5 . 2240 . 4{,}843}{370 . 1{,}466 . 1{,}026 . 144} = 4{,}54 \text{ Pfund.}$$ Es ist also in unserem Falle der Widerstand der Luft eben so groß, als die zur Fortbewegung der Locomotive nöthige Kraft. Aus diesen Zahlenwerthen ergiebt sich nun:

$$q' = \frac{1}{1{,}137}(105 - 1{,}25 - 15 - 0{,}518 - 0{,}658) - (4{,}54 + 4{,}54)$$
$$= 77 \text{ Pfd.} - 9{,}08 = 67{,}92.$$

Das Gewicht des Wagenzuges, der fortgeschafft werden kann, beträgt daher nach (21)

$$G = \frac{L d^2 q'}{v D} = \frac{1{,}466 . 1{,}026 . 144 . 67{,}92 . 370}{4{,}843} = 1123800 \text{ Pfd. oder}$$

501,7 Tonnen.

Wollten wir den Nutzeffect der Locomotive in dem angenommenen Falle bestimmen, so ist derselbe $= F q' v'$. Die Kolbenfläche beider Kolben ist

$\frac{1}{2} d^2\pi = 232$ Quadratzoll. Alſo $E' = 232 . 67{,}92 . 4{,}06 = 63970$ Fußpfund oder 125,4 Pferdekräfte.

Es zeigt ſich aber bald, daß die Locomotive dieſen Nutzeffect deshalb nicht wird leiſten können, weil die Adhärenz der Treibräder nicht hinreichend groß ſein wird, um die Laſt von 501,7 Tonnen von der Stelle zu ſchaffen. Die Treibräder ſind nämlich mit 6,1 Tonnen belaſtet, und nehmen wir den ſehr günſtigen Fall an, daß die Schienen trocken und beſtäubt ſind, ſo können wir die Adhärenz der Räder höchſtens gleich $\frac{1}{5}$ der Belaſtung, d. i. gleich 1,22 Tonnen ſetzen. So groß könnte die Zugkraft höchſtens werden, und dann würde ſie einer Laſt von $370 \times 1{,}22 = 451{,}4$ Tonnen entſprechen.

Aus dieſer Betrachtung ergiebt ſich nun, daß es ſelbſt bei der günſtigſten Witterung nicht nöthig iſt, den Dampf im Keſſel unſerer Locomotive bis zu 7 Atmoſphären anzuſpannen, ſie erlangt das Maximum ihrer Zugkraft ſchon bei einer geringeren Spannung, welche um ſo kleiner ſein kann, als durch ungünſtiges Wetter die Adhärenz auf den Schienen herabgedrückt wird.

2. Aufgabe. Welche Laſt kann die in voriger Aufgabe angenommene Locomotive mit 30′ Geſchwindigkeit auf einer geneigten Eiſenbahn aufwärts ziehen, wenn das Steigungsverhältniß derſelben 1 : 100 iſt?

Auflöſung. Wir berechnen nach (17) den Werth von q. Es iſt:

$$q = \frac{ML}{\beta(1+\mu)v(L+a)F} - \frac{1}{1+\mu}\left(\frac{\alpha}{\beta} + f + s + k + \delta v\right) - (b + \gamma v^2).$$

Außer v nehmen noch k, δv, b und γv^2 in dieſer Aufgabe neue Werthe an.

Nehmen wir die Dampfſpannung im Keſſel etwa zu 6 Atmoſphären an, ſo folgt (25):

$k = 192 \frac{P . MD}{L d^2 V} = 0{,}312$ Pfd. Iſt wieder die Weite des Blaſerohrs 4 Quadratzoll, ſo iſt nach (27)

$\delta v = 17 \frac{LM}{Da} V = 0{,}934$ Pfd. Aus (22) erhalten wir $\frac{1}{n} = \frac{1}{100}$, alſo $v + \frac{1}{n} = \frac{47}{3700}$ iſt:

$$b = \frac{\left(v + \frac{1}{n}\right) G' D}{L d^2} = 21{,}34 \text{ Pfd.}$$

Nehmen wir jetzt die Anzahl der Wagen nur zu 8 an, ſo iſt nach (23), da jetzt: $w = 8$ iſt:

$\gamma v^2 = \frac{0{,}306\ V^2 D}{L d^2} = 6{,}16$ Pfd. Ferner iſt $F = \frac{1}{2} d^2\pi = 1{,}61$ Quadratfuß und $v = \frac{2LV}{D\pi} = 5{,}78$.

Mit dieſen Werthen ergiebt ſich:

$$\frac{ML}{\beta(1+\mu)\,v\,(L+a)F} = \frac{0{,}0242\,.\,20}{0{,}0000322\,.\,1{,}137\,.\,5{,}78\,.\,21\,.\,1{,}61} = 67{,}55\,\text{Pfd.}$$

$$\frac{1}{1+\mu}\left(\frac{\alpha}{\beta} + f + s + k + \delta v\right) = 19{,}27\ \text{Pfund.}$$

$b + \gamma v^2 = 27{,}5$ Pfund. Also ist:

$q = 67{,}55 - 19{,}27 - 27{,}5 = 20{,}78$ Pfund.

Hieraus folgt dann nach (21) die Wagenlast

$$G = \frac{L\,d^2 q}{\left(v + \frac{1}{n}\right)D} = 73050\ \text{Pfund oder } 32{,}6\ \text{Tonnen.}$$

Die Locomotive vermag also kaum noch ihr eigenes Gewicht als Wagenlast fortzuschaffen.

Der Nutzeffect beträgt: $E = F\,q\,v = 27870$ Fußpfund oder 54,6 Pferdekraft.

Die größere Geschwindigkeit und die Steigung der Bahn hat also den Nutzeffect der Maschine um 56,5 Procent vermindert.

Einfluß der Bahnkrümmung. Ein nicht geringes Hinderniß für die Fortbewegung eines Wagenzuges bieten Bahnkrümmungen dar. Die Centrifugalität drängt zunächst den ganzen Zug nach der äußeren Seite der Krümmung hin. Art. Eisenbahn Bd. II. S. 656. Liegen beide Schienen in derselben Horizontalebene, so werden die Spurkränze der äußeren Räder gegen diese Schienen gedrückt werden, und es wird zwischen ihnen und den Schienen eine bedeutende Reibung entstehen. Dieses Hinderniß wird aber vermieden, wenn man den äußeren Schienenstrang etwas höher legt als den inneren und zwar um so viel, daß die Mittelkraft zwischen der Centrifugalität und der Schwerkraft der Wagen senkrecht auf der durch beide Schienen bestimmten Ebene steht. Eine einfache Rechnung ergiebt, daß diese Hebung der äußeren Schienen $\frac{S\,V^2}{R\,g}$ beträgt, wenn S die Spurweite, V die Geschwindigkeit der Wagen, R den Radius der Krümmung und g die bekannte Beschleunigung der Schwerkraft bezeichnet. Andere Hindernisse rühren daher, daß die Ränder der Spurkränze die Schienenränder streifen und die Wagenräder stets genöthigt werden, in der Richtung des Krümmungsradius eine kleine ausgleitende Bewegung zu machen. Jenes Hinderniß läßt sich dadurch vermindern, daß man die Spurweite etwas vergrößert, dieses ist selbst nicht bedeutend, so daß wir seinen mathematischen Ausdruck nicht in die Formel aufnehmen wollen. Bedeutender nämlich ist derjenige Widerstand, der aus der Ungleichheit der Wege herrührt, welche von den äußeren und den inneren Wagenrädern zurückgelegt werden. Jene haben einen längeren Weg zu durchlaufen, da aber jedes Räderpaar unbeweglich an derselben Are sitzt, so muß ein theilweises Gleiten oder Schleifen der Räder auf den Schienen eintreten, das, abgesehen von dem Torsionsbestreben gegen die Are hin, die fortschreitende Bewegung hindert. Es ist oben schon angeführt, daß für mäßige Krümmungen diesem Uebelstande durch die Conicität der Radreifen abgeholfen werden kann, bei stärkeren Krümmungen bleibt aber immer noch ein nachtheiliger Ueberschuß.

Bezeichnet R den Radius der Krümmung, S die Spurweite, so verhält sich der mittlere Weg des Wagens zu den Wegen der Räder auf der äußeren und

inneren Schiene wie $R : R \pm \frac{1}{2} S$, daraus folgt, daß der Weg auf der äußeren Schiene um das $\frac{S}{2R}$ fache länger, der auf der inneren Schiene um dieſelbe Größe kürzer iſt als der mittlere Weg. Bei einer Umdrehung der Treibräder, bei einer fortſchreitenden Bewegung um $D\pi$ wird jedes Rad eine gleitende Bewegung um $\frac{DS\pi}{2R}$ gemacht haben. Es bleibt aber auch möglich, daß die gleitende Bewegung ſich nur bei einem Rade, dem äußeren oder dem inneren, zeigt und bei dem anderen nicht, welches dann nur eine rollende Bewegung hat, dann aber muß der Weg des Gleitens doppelt ſo groß ſein. Durch die Conicität der Radreifen wird nun dieſes Gleiten um etwas vermindert. Bezeichnet k das Verhältniß dieſer Conicität, ſo daß bei 1 Zoll Breite des Reifes der Radius um k Zoll kleiner wird, und bezeichnet e den Spielraum der Wagen zwiſchen den Gleiſen, ſo können dieſelben beim Eintritt in die Curve um $\frac{e}{2}$ zur Seite rücken, die Radien werden dann um $\frac{ke}{2}$ bei den äußeren Rädern größer und bei den inneren kleiner; auf die Peripherien übertragen macht dieſer Unterſchied $ke\pi$ aus. Um dieſe Größe wird ſich nun der oben angegebene Weg des Gleitens vermindern, ſo daß für beide Arten der Räder dieſer Weg

$$\pi \left(\frac{DS}{2R} - ke \right)$$

beträgt. Das Gewicht des ganzen Zuges iſt G, die gleitende Reibung deſſelben auf den Schienen alſo $\mu' G$, und die Arbeit der in Rede ſtehenden Reibung alſo

$$\pi \left(\frac{DS}{2R} - ke \right) \mu' G$$

Reduciren wir dieſe Arbeit auf den gleichzeitigen Weg des Kolbens, ſo erhalten wir einen Druck gegen den Kolben, der für die Flächeneinheit beträgt:

$$\mu' \left(\frac{DS}{2R} - ke \right) \frac{G}{L d^2}.$$

Um dieſe Größe muß der Werth q in Gleichung (21) noch vermehrt werden, wenn der Einfluß der Bahnkrümmung berückſichtigt werden ſoll. Alsdann iſt:

$$q = \left[\left(v + \frac{\mu' S}{2R} \pm \frac{1}{n} \right) D - \mu' ke \right] \frac{G}{L d^2} \quad \ldots \quad (29).$$

Und eben ſo folgt aus (22)

$$h = \left[\left(v + \frac{\mu' S}{2R} \pm \frac{1}{n} \right) D - \mu' ke \right] \frac{G'}{L d^2} \quad \ldots \quad (30).$$

μ' iſt gleich $\frac{1}{6}$, $S = 4' 8\frac{1}{2}''$ engl., oder etwa 4′ 7′ preuß., $k = \frac{1}{20}$, e iſt für gerade Bahnſtrecken $\frac{3}{4}''$, für Krümmungen etwas größer, etwa 1″.

3. Aufgabe. Welche Dimensionen sind den Haupttheilen einer Locomotive zu geben, die eine Ladung von wenigstens 2500 Ctr. mit einer Geschwindigkeit von $1^1/_2$ deutschen Meile in der Stunde auf Steigungen von $2^1/_2$ % und in Krümmungen von 600′ fortzuschaffen vermögend sein soll. Keins der Räder soll um mehr als 120 Ctr. belastet sein. (Programm für die Semmeringlocomotiven.)

Auflösung. Gegeben ist G = 2500 Ctr. = 275000 Pfd.

$$V = \frac{1^1/_2 . 24000}{60 . 60} = 10', \quad \frac{1}{n} = \frac{1}{40}.$$

Die auf die Einheit der Kolbenfläche reducirte Zugkraft q beträgt, wenn sie auf die Peripherie der Treibräder reducirt wird, $Z = \frac{q\, d^2 L}{D}$. Es ist also nach (29):

$$Z = \left[v + \frac{\mu' S}{2R} \pm \frac{1}{n} - \frac{\mu' k c}{D}\right] G.$$ Setzen wir nun $v = \frac{1}{370}$, $\mu' = \frac{1}{6}$, S = 4,6, R = 600, n = 40, $k = \frac{1}{20}$, $c = 1'' = \frac{1'}{12}$, G = 275000 und D = 3,5′, weil es sich um eine Berglocomotive handelt, die bei geringer Geschwindigkeit eine große Zugkraft ausüben soll, so erhalten wir:

Z = 7741,25 Pfund oder annähernd 70 Centner.

Von hier aus läßt sich ein Schluß auf das Gewicht der Locomotive und des Tenders machen, so wie auf die Einrichtung der Räder. Die Zugkraft der Maschine muß kleiner sein als die gleitende Reibung der belasteten Treibräder. Setzen wir nun für immer noch günstige Zustände der Schienen den Coefficienten der gleitenden Reibung $\mu' = \frac{1}{7}$, so folgt für die Belastung der Treibräder 490 Ctr., da aber kein Treibrad stärker als mit 120 Ctr. belastet sein soll, so reichen 4 gekuppelte Treibräder nicht aus, um so weniger, als wir für die Fortbewegung der Locomotive und des Tenders einen nicht unbedeutenden Werth den obigen 70 Ctr. hinzuzufügen haben, und weil ja die Locomotive auch unter weniger günstigen Witterungsverhältnissen, wenn der Coefficient der gleitenden Reibung sinkt, noch brauchbar sein muß. Nehmen wir an, daß für den ungünstigsten Fall, für nasse, schmutzige und beschneite Schienen alle Räder der Locomotive und des Tenders mit einander gekuppelt werden können, so muß die Gesammtbelastung aller Treibräder, d. i. das Gesammtgewicht von Locomotive und Tender das 12fache der ganzen Zugkraft betragen, weil in diesem Falle der Coefficient der gleitenden Reibung nur $\frac{1}{12}$ beträgt. Obige 70 Ctr. betragen etwa den 36. Theil der Last von 2500 Ctr., wir können also die zur Fortbewegung der Locomotive und des Tenders nöthige Zugkraft gleich $\frac{1}{36}$ G′ nehmen, wenn G′ das Gewicht der Gesammtmaschine bezeichnet. Daher ergiebt sich nun die Gleichung:

$$12\,(70 + \frac{1}{36}\,G') = G', \text{ und hieraus:}$$

G′ = 1260 Ctr.

Da kein Treibrad mit mehr als 120 Ctr. belaſtet werden darf, ſo folgt, daß 10 Treibräder nicht genügen, man wird alſo mindeſtens 12 Treibräder wählen müſſen, oder ſicherer 14, weil das Gewicht der Locomotive und des Tenders durch Waſſer und Kohlenverbrauch vorübergehend kleiner werden kann.

Die geſammte Zugkraft iſt nun $70 + \frac{1}{36} G' = 105$ Ctr., ſoll die Adhärenz der Locomotivräder für mittlere Verhältniſſe $\mu' = \frac{1}{8}$ noch ausreichen, ſo muß die Locomotive mindeſtens 840 Ctr. ſchwer ſein und mindeſtens 8 gekuppelte Räder haben; für den Tender bliebe dann ein Gewicht von 420 Ctr. und 6 Räder, die mit den Rädern der Locomotive in Kuppelung müſſen treten können.

(Vergleichen wir nun die bis jetzt gefundenen Reſultate mit den Verhältniſſen einer wirklichen, der aufgeſtellten Forderung entſprechenden Locomotive. Die Locomotive Bavaria aus der Fabrik von Maffei in München *), welche in der Concurrenz den Preis erhielt, hat 8 Räder, ihr Tender 6. Alle 14 Räder ſind genau gleich groß und laſſen ſich alle kuppeln. Die Kuppelung iſt die gewöhnliche, die zwiſchen Locomotive und Tender geſchieht mittelſt zweier Zahnräder und einer endloſen Kette. Das Gewicht der gefüllten Locomotive beträgt 880 Ctr., das des geladenen Tenders 408 Ctr.)

Aus der oben gefundenen Gleichung $Z = \frac{q\, d^2 L}{D}$ ergiebt ſich $q = \frac{Z D}{L d^2}$; d. i., wenn wir $L d^2$ zunächſt noch unbeſtimmt laſſen:

$$q = \frac{27094{,}375}{L d^2}, \text{ und eben ſo}$$

$$b = \frac{1260}{2500} q = \frac{13655{,}564}{L d^2}, \text{ alſo } b + q = \frac{40750}{L d^2}.$$

Nehmen wir die Anzahl der Wagen, auf welche die 2500 Ctr. verladen werden, zu 12 an, ſo folgt nach 23

$$\gamma v^2 = \frac{\varepsilon V^2 D}{L d^2} = \frac{0{,}153 \,.\, 2{,}5 \,.\, 10^2 \,.\, 3{,}5}{L d^2} = \frac{134}{L d^2}, \text{ alſo } q + b + \gamma v^2 = \frac{40884}{L d^2}.$$

Aus (19) folgt nun

$$q' + b + \gamma v^2 = \frac{1}{1+\mu}(P - f - s - k - \delta v') = \frac{40884}{L d^2}.$$

Setzen wir nun die Dampfſpannung im Keſſel zu 7 Atmoſphären oder $P = 105$ Pfund, und ſchätzen vorläufig die Summe der Subtractoren $f + s + k + \delta v'$ zu 20 Pfund ab, ſo folgt, da μ für Maſchinen mit gekuppelten Rädern $= 0{,}215$ zu nehmen iſt:

---

*) Dingler's Polytechniſches Journal. Bd. CXXIV. S. 94 und 244.

$$\frac{1}{1+\mu}(P - f - s - k - \delta v') = 70;\ \text{also ist}$$

$$L d^2 = \frac{40884}{70} = 584.$$

Hierbei ist L in Fußen, d in Zollen zu nehmen; soll d auch in Fußen ausgedrückt werden, so wäre $L d^2 = \frac{584}{144}$ oder nahe 4.

Gewöhnlich ist die Länge L des Kolbenhubes das $1^1/_2$fache des Kolbendurchmessers, wollen wir dieses Verhältniß auch hier festhalten, so folgt $d = 1{,}386'$ oder nahe $1'\ 4^2/_3''$ und $L = 2{,}079$ oder nahe $2'\ 1''$.

Der von Pambour für gekuppelte Maschinen angegebene Reibungscoefficient $\mu = 0{,}215$ bezieht sich nur auf einfach gekuppelte Maschinen, bei der vielfachen Kuppelung unserer Maschine, die selbst Ketten und Zahnräder zu diesem Ende anwendet, ist jedenfalls dieser Werth etwas zu klein, nehmen wir deshalb den doppelten Werth dafür, also $\mu = 0{,}43$, so erhalten wir etwas größere Werthe für L und d. Es ist dann:

$$\frac{1}{1+\mu}(P - f - s - k - \delta v') = 59{,}5, \text{ und } L d^2 = \frac{40884}{59{,}5}$$

$= 687$ oder, wenn d auf Fuße bezogen wird, gleich 4,77. Hiernach ist dann $d = 1{,}47'$ oder $1'\ 5^2/_3''$ und $L = 2{,}2'$ oder nahe $2'\ 2^1/_2''$.

(Bei der Locomotive Bavaria ist der Kolbendurchmesser $19^1/_3''$, also um $1^2/_3''$ größer als der zuletzt berechnete Werth, und L ist 29", also um $2^1/_2''$ größer. Daraus folgt, daß die Arbeitsfähigkeit der Maschine etwas größer ist, als wie im Programm verlangt war. Der Maximaldruck des Dampfes soll bei ihr, nicht wie wir angenommen haben, 105 Pfund, sondern nur 102 Pfund betragen, was auch eine geringe Vergrößerung der Dimensionen nöthig macht.)

Nehmen wir für die weitere Rechnung unseren zuletzt berechneten Werth an, also $d = 1{,}47'$, so folgt für $F = 2 \cdot \frac{d^2\pi}{4}$ der Werth: 3,39 Quadratfuß oder 489 Quadratzoll.

Aus (20) folgt als die entsprechende Kolbengeschwindigkeit $v = \frac{2LV}{D\pi}$

$= 4{,}002'$.

Nehmen wir diese Geschwindigkeit als die kleinste Geschwindigkeit v' an, welche die Locomotive bei voller Kraftanwendung hervorbringt, so folgt aus (18)

$$M = \frac{F(L+a)(\alpha+\beta P)v'}{L} = \frac{3{,}39 \cdot 21 \cdot 0{,}003523 \cdot 4{,}002'}{20} = 0{,}0502,$$

da $a = \frac{1}{10} L$ zu setzen ist.

Also ist $M = 0{,}0502$. In der Minute müssen also $60 \cdot 0{,}0302$ oder 3,012 Kubikfuß Wasser verdampft werden können.

Um hieraus die Größe der Heizfläche zu finden, wenden wir die Formel (28) an und erhalten:

$$H = 18000\ M \sqrt[4]{\frac{30}{V}} = 1190 \text{ Quadratfuß},$$ hiervon kommen auf die directe Heizfläche 108 Quadratfuß, nämlich $^1/_{11}$, und auf die indirecte 1082 Quadratfuß. Soll der Keſſel 200 Feuerröhren zu 2″ Durchmeſſer erhalten, ſo folgt für die Länge ſeines cylindriſchen Theils zwiſchen der Rauchkammer und Feuerkammer der Werth:

$$\frac{1082}{200 \cdot {}^1/_6 \cdot \pi} = 10{,}33'.$$

(Die Bavaria hat eine directe Heizfläche von 109 Quadratfuß, dagegen eine indirecte von 1468 Quadratfuß, die durch 229 meſſingene $^7/_4$″ weite und $13^1/_2$′ lange Röhren gebildet wird. Daß hier die indirecte Heizfläche etwas größer erſcheint als die berechnete, erklärt ſich daraus, daß ſchon die etwas vergrößerten Dimenſionen der Cylinder auf eine größere Leiſtungsfähigkeit hindeuteten.)

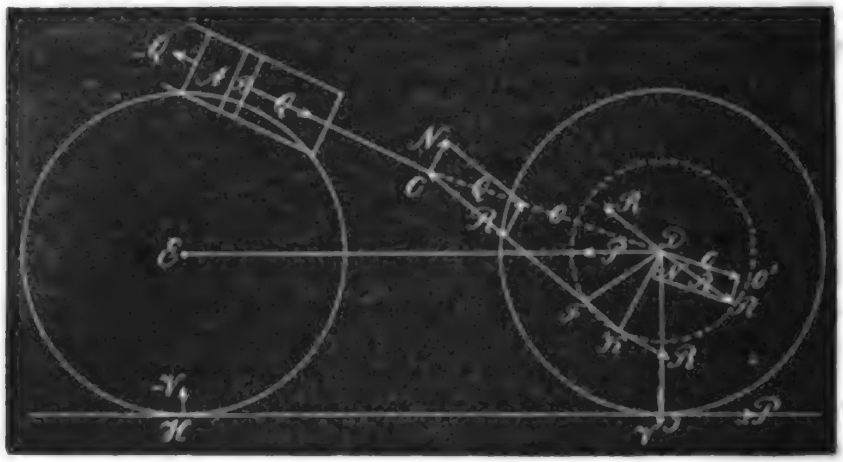
B. Die beſonderen Erſcheinungen in der Bewegung der Locomotive.

Im vorigen Abſchnitt haben wir aus dem allgemeinen Effect der Dampfwirkung die allgemeinen Verhältniſſe in der Fortbewegung der Locomotive abgeleitet, es bleibt uns noch übrig die beſonderen Erſcheinungen in der Bewegung der Locomotive hervorzuheben, die ſich gewöhnlich bei jeder Umdrehung der Treibaxe wiederholen. Der Umſtand, daß zwei Dampfmaſchinen an verſchiedenen Punkten des Locomotivkörpers wirken, daß ſie nicht gleichmäßig wirken, ſondern bei rechtwinklig gegen einander geſtellten Kurbeln in ihrer Hauptwirkung gleichſam ſich ablöſen, ferner daß die Bewegung der Kolben eine ungleichmäßige iſt, da ſie auf der Mitte ihrer Bahn ſich am ſchnellſten bewegen, daß einzelne Theile der Locomotive ſich gegen die anderen bewegen, dieſe Theile aber auch nicht unbeweglich mit einander verbunden ſind, ſondern mittelſt der Tragfedern zwiſchen dem Geſtell und dem Rahmen ein elaſtiſcher Verband beſteht, alle dieſe Umſtände bringen Erſcheinungen in der Bewegung der Locomotive hervor, die einer näheren Erörterung bedürfen.

Außer der fortſchreitenden Hauptbewegung der Locomotive, welche das Ziel der Conſtruction iſt, unterſcheidet man noch 4 Arten von Nebenbewegungen, die mehr oder minder hinderlich ſind und nachtheilig auf den Locomotivkörper einwirken. Hierhin gehören 1) das *Rücken*, ein ſtoßweißes Voreilen und Zurückbleiben im Vergleich mit der mittleren Bewegung, 2) das *Schlängeln* oder *Schwänzeln*, ein Drehen um eine vertikale Axe, ein Beſtreben, bald rechts, bald links auszuweichen; 3) das *Schwanken*, ein Beſtreben, um eine horizontale Längenaxe ſich zu drehen, ſo daß die Locomotive bald nach rechts, bald nach links hin umſtürzen möchte, und 4) das *Galoppiren*, ein Beſtreben, ſich um eine horizontale Queraxe zu drehen, in Folge deſſen die Vorderräder bald ſtärker bald ſchwächer gegen die Schienen drücken. Die entgegengeſetzten Bewegungsbeſtrebungen, die in jeder dieſer vier Bewegungsarten enthalten ſind, folgen innerhalb einer Umdrehung der Treibaxe auf einander, und wenn ſie auch nicht ſo ſtark ſind, ein wirkliches Entgleiſen oder Umſtürzen der Locomotive zu bewirken, ſo

erſchüttern ſie doch den ganzen Bau der Locomotive, deren einzelne Theile durch ihre Feſtigkeit dieſer Erſchütterung widerſtehen müſſen *).

Es ſei in beiſtehender Figur D die Drehungsaxe der Treibaxe, F die Kurbelwarze, C F die Treibſtange, B C die Kolbenſtange, B der Kolben, E die Axe des vorderen Räderpaars, H J die Schienenbahn. Der in dem Cylinderraum A befindliche Dampf drücke mit der Kraft Q auf den Kolben nach hinten, dann übt er gleichzeitig auf die vordere Bodenwand des Cylinders den entgegengeſetzten Druck — Q aus. Der Druck Q pflanzt ſich durch die Kolbenſtange fort und zerlegt ſich in C in zwei Seitenkräfte, in den Druck R in der Richtung der Treib-



ſtange und in den Druck N, ſenkrecht zur Richtung der Kolbenſtange. Dieſer Druck N wird durch den Führungsrahmen für das Querhaupt der Kolbenſtange aufgenommen. Der Druck R wirkt auf die Kurbelwarze F, und ſeine Wirkung iſt gleich der Wirkung einer gleichen und gleichgerichteten Kraft D R im Mittelpunkte D plus der Wirkung eines Kräftepaars (R, — R), deſſen Moment $R \times DK = Rc$ iſt, wenn wir das Loth $DK = c$ ſetzen. Die Kraft D R in D zerlegt ſich wieder in zwei Seitenkräfte, von denen die eine = Q, in der Richtung der Kolbenſtange wirkt, und die andere — N ſenkrecht dagegen gerichtet iſt. Die in D wirkende Kraft Q hebt ſich mit der gegen den Boden des Cylinders wirkenden Kraft — Q auf, die in D wirkende Kraft — N bildet aber mit der in C wirkenden Kraft N ein Kräftepaar (N, — N), deſſen Moment = N h iſt, wenn C D = h geſetzt wird. Aus dem Dampfdruck im Cylinder reſultiren alſo zwei Gegenpaare (R_1 — R) mit dem Moment R c, und (N, — N) mit dem Moment N h. — Bekanntlich iſt ein Kräftepaar gleichgeltend einem anderen Kräftepaare, das denſelben Körper angreift, in derſelben Ebene wirkt, daſſelbe Moment und dieſelbe Drehrichtung beſitzt. Das Kräftepaar (R, — R) wirkt auf das Treibrad, iſt alſo gleichgeltend einem anderen Paare (P, — P), deſſen eine Kraft P in dem Mittelpunkte D, die andere — P an der Radperipherie, im Berührungspunkte derſelben mit der Schienenbahn wirkt. Setzen wir den Radius des Treibrades D J = a, ſo iſt:

*) Vergleiche mit nachfolgender Entwickelung: Weisbach, Ingenieur- und Maſchinenmechanik. Th. III. S. 287 ff.

$$Pa = Rc, \text{ oder } P = \frac{Rc}{a} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

Von den Kräften dieſes Paares wird die eine — P aufgehoben durch den Widerſtand, den die Radperipherie auf der Schienenbahn findet, wenn ſie darauf gleitend ſich bewegen will, die andere + P, an der Radaxe wirkend, bewirkt die Fortbewegung des Wagens. Hieraus folgt auch, daß P nicht größer ſein darf, als das Maß der gleitenden Reibung zwiſchen dem Radkranze und der Schiene. Das andere Kräftepaar (N, — N) greift nicht ein einzelnes Rad, ſondern den ganzen Locomotivkörper an und läßt ſich in ein anderes Paar vertikaler Kräfte (V, — V) verwandeln, welches die beiden Radaxen angreift. Setzen wir die Entfernung dieſer beiden Axen DE = d, ſo iſt:

$$Vd = Nh, \text{ oder } V = \frac{Nh}{d} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2).$$

Durch die eine dieſer beiden Kräfte — V wird der Druck des einen Räderpaares gegen die Schienen vermindert, durch die andere V der Druck des anderen Räderpaares gegen die Schienen vermehrt.

Für den in der Figur gedachten Fall wirkt die Treibſtange CF ſchiebend, und das Kräftepaar (N, — N), alſo auch das da gleichgeltende (V, — V), hat eine ſolche Drehrichtung, daß der Druck des vorderen Räderpaares E gegen die Schienen vermindert, der des hinteren vermehrt wird. Iſt die Kurbelwarze F über den todten Punkt O' hinausgegangen, ſo hat zwar die Treibſtange eine entgegengeſetzte Lage angenommen, aber gleichzeitig iſt ihre Wirkungsweiſe entgegengeſetzt geworden, ſie wirkt ziehend, ſo daß die Drehrichtung des Kräftepaares (V, — V) unverändert bleibt, es wird alſo fortwährend durch die Wirkung des Dampfdrucks der Druck der vorderen Räder gegen die Schienen vermindert, der der hinteren Räder, hier der Treibräder, vermehrt.

Auch das Kräftepaar (P, — P) behält für die rückgehende Bewegung der Treibſtange ſeine Drehrichtung, aber die beiden einzelnen, gleichen Kräfte Q — Q nehmen die entgegengeſetzte Richtung an, ſo daß ſie jetzt, wenn ſie auch auf die fortſchreitende Bewegung des Locomotivkörpers ohne Einfluß ſind, das Beſtreben haben, Treibradaxe und Dampfcylinder einander zu nähern, während ſie dieſelben in dem in der Figur angenommenen Falle von einander zu entfernen ſich bemühen werden. Nun iſt aber der Geſtellrahmen, der die Cylinder trägt, durch die Tragfedern mit den Radaxen verbunden und dieſe können einer vertikal wirkenden Kraft nachgeben. Liegen nun die Dampfcylinder etwas ſchräg, ſo werden ſich die eben ſo ſchräg wirkenden Kräfte Q und — Q in zwei horizontale und zwei vertikale Seitenkräfte zerlegen laſſen, und dieſe vertikalen Seitenkräfte werden ein abwechſelndes Heben und Niederziehen des Rahmens bewirken und zwar ein Heben bei der hingehenden Bewegung des Kolbens, ein Niederziehen bei der rückkehrenden. Die horizontalen Componenten der Druckkräfte Q, — Q werden von der Feſtigkeit der Langhölzer des Rahmens und ihrer Leitungsbacken aufgenommen. Liegen aber die Cylinder horizontal, ſo fallen jene vertikalen Componenten weg, wodurch eine ruhigere Lage des Rahmens mit dem Keſſel erzielt wird. Hieraus folgt nun, daß man ohne beſondere Gründe nicht von der horizontalen Lage der Dampfcylinder abweichen darf.

Aehnlich verhält es ſich mit dem Kräftepaar (N, — N). Die eine Kraft N

greift in der Treibradare D an, die andere — N am Leitungsrahmen des Kolbenstangenkopfes; zwischen beiden Angriffspunkten liegt abermals die Tragfeder. Man erkennt leicht, daß durch diese Kräfte fortwährend ein Heben des Rahmens (wenn auch mit veränderlicher Kraft) erzielt wird, und zwar daß dieses Bestreben um so größer ist, je mehr die Lage der Dampfcylinder sich der horizontalen nähert, und daß erst bei vertikal gestellten Cylindern die Kraft — N keine Wirkung auf die Tragfeder ausüben würde. Zugleich erhellt aber auch, daß trotzdem die horizontale Lage vorzuziehen bleibt, theils weil die Kraft — N in stets gleichem Sinne auf die Tragfeder wirkt, die Kräfte Q, — Q aber abwechselnd hebend und niederziehend wirken, theils aber weil N gegen Q klein bleibt. Wir können zunächst annehmen, daß der Dampfdruck Q gegen den Kolben unveränderlich sei während eines Doppelhubes, die Kräfte N, P, V sind es aber nicht. Die Kraft N verschwindet, wenn die Kurbelwarze in den todten Punkten P und O' steht, sie steht im Maximum, wenn der Winkel D C F seinen größten Werth hat; eben so schwankt V zwischen o und einem Marimalwerthe. Steht die Kurbelwarze in den todten Punkten, so ist das Perpendikel D K = c = o, folglich verschwindet in dieser Lage auch die Kraft P; da nun während einer Arendrehung die Kräfte P, V, N zweimal o werden, und zweimal ein Maximum erreichen, so ist ihre Wirkung auf die Locomotive eine ungleichmäßige, die erzeugte Bewegung eine unruhige. Zwar wird dieser Uebelstand zum Theil dadurch gemäßigt, daß gleichzeitig zwei Dampfcylinder arbeiten, von denen der eine im Maximum der Wirkung steht, wenn der andere in den todten Punkten sich befindet, so daß Mangel und Ueberfluß auf der einen und der anderen Seite sich ausgleichen, doch entstehen hieraus wieder andere Mißstände. Bezeichnen P_1, N_1, V_1 die obigen gleich bezeichneten Kräfte für den Dampfcylinder auf der rechten Seite, P_2, N_2, V_2 für den anderen, so sind diese Kräfte nur für zwei Momente in der Umdrehung beiderseitig bezüglich gleich, für die ganze übrige Zeit ungleich, abwechselnd die einen größer, oder die anderen. Da aber diese Kräfte selbst nicht in der Mitte der Locomotive wirken, sondern an der Seite derselben, so bringt ihre Ungleichheit ein Drehungsbestreben der Locomotive hervor, das um so größer ist, je weiter die Kurbelebenen von einander entfernt liegen, in denen jene zwei Kräftegruppen wirken.

Die beiden Kräfte P_1 und P_2 vereinigen sich zwar zu einer Mittelkraft:

$$P = P_1 + P_2,$$

welche die Mitte der Are angreift, da sie aber ungleich sind, so resultirt noch zugleich ein Kräftepaar, dessen Moment $\frac{(P_1 - P_2)\,b}{2}$ ist, wenn wir mit b den Abstand der beiden Kurbelebenen bezeichnen. Reduciren wir dieses Kräftepaar auf ein anderes (S, — S) und denken wir uns die einzelnen Kräfte S, — S auf die Treibräder selbst wirkend und bezeichnen die Spurweite mit s, so muß:

$$S\,s = \frac{(P - P_2)\,b}{2} \text{ sein, oder } S = \frac{(P_1 - P_2)\,b}{2\,S} \text{ sein. . . . . (3).}$$

Die Wirkung dieses Kräftepaars auf die Locomotive ist nun das Bestreben zu einer solchen Drehbewegung, als ob gleichzeitig das rechte Treibrad mit einer Kraft

$$S = \frac{(P_1 - P_2)\,b}{2\,S}$$

nach vorn gezogen, das linke mit einer gleichen Kraft nach hinten gedrückt werde, wobei es sich von selbst versteht, daß diese Drehbewegung als die entgegengesetzte zu denken ist, wenn $P_1 < P_2$ ist. Die Axe dieser Drehbewegung ist aber eine vertikale, und da jede der beiden Kräfte P_1 und P_2 während einer Umdrehung zweimal a wird und ihren Maximalwerth erreicht, so folgt, daß auch während dieser Zeit die Locomotive zweimal mit ihrer rechten, und eben so oftmal mit ihrer linken Seite voreilen möchte.

Die beiden Kräfte V_1 und V_2 vereinigen sich zwar in der Mitte der Treibradaxe zu einer Mittelkraft

$$V = V_1 + V_2,$$

welche die Stärke des Drucks angiebt, um welche der Gewichtsdruck der Treibräder gegen die Schienen noch durch die Dampfwirkung vermehrt, der der vorderen Räder aber vermindert wird, aber zugleich resultirt noch ein Kräftepaar, dessen Moment

$$\frac{(V_1 - V_2)\,b}{2}$$

ist, und in ein anderes $(T, -T)$ verwandelt werden kann, das die Treibräder selbst angreift; dann ist:

$$Ts = \frac{V_1 - V_2\,b}{2}, \text{ oder } T = \frac{(V_1 - V_2)\,b}{2s} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4).$$

Die Wirkung dieses Kräftepaares ist ein Drehbestreben um eine horizontale Längsaxe und zwar in dem Sinne, als ob eine Kraft

$$T = \frac{(V_1 - V_2)\,b}{2\,S}$$

das linke Treibrad nach oben, eine eben so große aber das rechte Treibrad nach unten zu bewegen sich bestrebt, als ob ein Umstürzen der Locomotive an dieser Stelle nach der rechten Seite hin stattfinden sollte. Ist $V_1 < V_2$, so findet natürlich das entgegengesetzte Bestreben statt, und da bei einer Umdrehung diese Kräfte auch zweimal verschwinden und zweimal einen Maximalwerth annehmen, so folgt auch hier ein zweimaliger Wechsel dieser Drehbewegung während einer Umdrehung. Zu übersehen ist hierbei nicht, daß in jedem Momente die Axe der vorderen Räder das entgegengesetzte Drehbestreben erfährt, so daß der ganze Locomotivkörper unter der Wirkung der beiden entgegengesetzten Kräfte eine gewisse Torsion erleidet.

Es ist oben schon angeführt, daß durch die Wirkung der Kräfte N der Rahmen sammt dem Kessel eine gewisse Hebung erfährt. Ist i der Neigungswinkel der Cylinderaxe gegen den Horizont, so ist $N \cos i$ diese Hebekraft. Nun wirken aber zwei solche Kräfte $N_1 \cos i$ und $N_2 \cos i$ zu beiden Seiten des Rahmens; sie vereinigen sich zu einer Mittelkraft

$$N \cos i = (N_1 + N_2) \cos i,$$

aber auch zu einem Kräftepaar, dessen Moment $\frac{(N_1 - N_2)\,b \cos i}{2}$ ist. Die Wirkung dieses Kräftepaares ist dieselbe, als ob eine Kraft $\frac{(N_1 - N_2) \cos i}{2}$ die rechte

Seite des Rahmens aufwärts und eine gleiche die linke Seite niederwärts drücken wollte, und zwar, daß die entgegengesetzte Bewegung gedacht werden muß, wenn $N_1 < N_2$ ist. Dieses Schwanken des Rahmens mit dem Kessel wiederholt sich ebenfalls zweimal während einer Treibradsumdrehung.

Was nun die beiderseits wirkenden Druckkräfte Q_1 und Q_2 betrifft, so sind sie zwar (annähernd) unveränderlich gleich groß, doch kehren sie ihre Richtung für die rückkehrende Bewegung der Treibstange um. Da nun während einer Umdrehung in zwei Quadranten beide Kolbenstangen übereinstimmende, in zwei Quadranten aber entgegengesetzte Bewegungen haben, so folgt für die Einwirkung auf den Kessel, daß während der Bewegung der Kurbel durch zwei Quadranten der Kessel beiderseits gehoben oder niedergezogen wird, während der Bewegung in den beiden anderen Quadranten wird er auf der einen Seite gehoben und auf der anderen niedergezogen, so daß ein seitliches Schwanken eintritt. Die Kraft, mit welcher auf die einseitige Hebung des Kessels eingewirkt wird, ist $Q \sin i$, also ist die gemeinschaftliche Mittelkraft, wenn die beiderseitigen Kräfte in demselben Sinne wirken, $= 2\,Q \sin i$; wirken sie aber im entgegengesetzten Sinne, so ist das Moment des dadurch entstehenden Kräftepaars

$$Q\,b \sin i.$$

Um vorstehende Betrachtungen noch etwas weiter durch Rechnung zu verfolgen, wollen wir den Kurbelradius $DF = r$, die Länge der Treibstange $CF = l$, den Winkel ODF, den die Kurbel vom todten Punkte O aus beschrieben $= \beta$, den Winkel DCF der Treibstange mit der Kolbenstangenrichtung $= \alpha$ setzen und wollen α als einen kleinen Winkel behandeln, dessen Tangente allenfalls seinem Sinus gleichgesetzt werden kann und dessen Cosinus nahezu gleich 1 ist.

Aus dem Druck CDF folgt: $l \sin \alpha = r \sin \beta$, also: $\sin \alpha = \frac{r}{l} \sin \beta$,

eben so: $CD = h = l \cos \alpha + r \cos \beta$ oder angenähert $h = l + r \cos \beta$.

Die Zerlegung der Kraft Q in die beiden Seitenkräfte N_1 und R_1 liefert:

$$N_1 = Q \operatorname{tg} \alpha, \text{ oder angenähert } N_1 = Q \sin \alpha = \frac{Q\,r}{l} \sin \beta.$$

$$R_1 = \frac{Q}{\cos \alpha}, \text{ oder angenähert: } R_1 = Q.$$

Nun ist aus Dreieck DFK:

$$DK = c = DF \sin \measuredangle DFK = r \sin (\alpha + \beta) = r (\sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha \sin \beta),$$

oder angenähert:

$$c = r \sin \beta \left(1 + \frac{r}{l} \cos \beta\right). \quad \text{Deshalb folgt nach (1)}$$

$$P_1 = \frac{R_1 c}{a} = \frac{Q\,r \sin \beta}{a} \left(1 + \frac{r}{l} \cos \beta\right).$$

Ebenso folgt aus (2)

$$V_1 = \frac{N_1 h}{d} = \frac{Q\,r \sin \beta\,(l + r \cos \beta)}{l\,d}.$$

Da für den 3. und 4. Quadranten von β die erste Treibstange rückgängig ist, so muß man für diese Fälle die entgegengesetzten Werthe aus diesen Formeln nehmen.

Denken wir uns die Kurbel des zweiten Dampfcylinders um 90° der ersten Kurbel nachfolgen, so erhalten wir die entsprechenden gleichzeitigen Werthe für N_2, P_2, V_2, wenn wir in obige Formeln $\beta - 90°$ an die Stelle von β setzen; es geht dann sin β in $-\cos\beta$, und cos β in sin β über, und wir erhalten die angenäherten Werthe:

$$N_2 = -\frac{Qr}{l}\cos\beta$$

$$P_2 = -\frac{Qr\cos\beta}{a}\left(1 + \frac{r}{l}\sin\beta\right)$$

$$V_2 = -\frac{Qr\cos\beta}{d}\left(1 + \frac{r}{l}\sin\beta\right)$$

Da die zweite Treibstange für den 1. und 4. Quadranten von β rückgängig ist, so sind für diese Fälle die entsprechenden Werthe von N_2, P_2, V_2 aus diesen Formeln mit den entgegengesetzten Zeichen zu nehmen. Es stellt sich demnach für die einzelnen Quadranten der Umdrehung die Rechnung verschieden.

Die augenblickliche Zugkraft ist im ersten Quadranten von β:

$$P' = P_1 + P_2 = \frac{Qr}{a}\left(\sin\beta + \cos\beta + \frac{r}{l}\sin 2\beta\right).$$

Am Anfang und Ende beträgt sie $\frac{Qr}{a}$ und erreicht ihr Maximum, wenn tang $\beta = 1$ ist, d. h. bei $\beta = 45°$ und es ist alsdann die Zugkraft $\frac{Qr}{a}\left(\sqrt{2} + \frac{r}{l}\right)$.

Für den zweiten Quadranten von β ist die Zugkraft:

$$P'' = P_1 + P_2 = \frac{Qr}{a}(\sin\beta - \cos\beta).$$

Für den Anfang und das Ende des Quadranten ist wiederum $P' = \frac{Qr}{a}$, das Maximum tritt ein, wenn tang $\beta = -1$ ist, also für $\beta = 135°$ und es ist dann $P'' = \frac{Qr}{a}\sqrt{2}$

In ganz gleicher Weise ergiebt sich für den Anfang und das Ende des dritten und vierten Quadranten die Zugkraft $= \frac{Qr}{a}$, das Eintreten des Maximums für die Mitte der Quadranten, und für die beiden bezüglichen Maximalwerthe $\frac{Qr}{a}\left(\sqrt{2} - \frac{r}{l}\right)$ und $\frac{Qr}{a}\sqrt{2}$. Verfolgen wir nun den Verlauf der Zugkraft für eine Umdrehung des Treibrades von 45° zu 45° und nehmen dabei $\frac{r}{l} = \frac{1}{5}$ an, wie es gewöhnlich stattfindet, so ist:

Drehungswinkel $\beta =$	0^0	45^0	90^0	135^0	180^0	225^0	270^0	315^0
Zugkraft, allgemeine	$\frac{Qr}{a}$,	$\frac{Qr}{a}\left(\sqrt{2}+\frac{r}{l}\right)$,	$\frac{Qr}{a}$,	$\frac{Qr}{a}\sqrt{2}$,	$\frac{Qr}{a}$,	$\frac{Qr}{a}\left(\sqrt{2}+\frac{r}{l}\right)$,	$\frac{Qr}{a}$,	$\frac{Qr}{a}\sqrt{2}$.
" , $r = 1/5$,	$\frac{Qr}{a}$,	$1{,}614\,\frac{Qr}{a}$,	$\frac{Qr}{a}$,	$1{,}414\,\frac{Qr}{a}$,	$\frac{Qr}{a}$,	$1{,}214\,\frac{Qr}{a}$,	$\frac{Qr}{a}$,	$1{,}414\,\frac{Qr}{a}$.

Berechnet man für jeden einzelnen Quadranten die Arbeit der Zugkraft durch Entwickelung des Ausdrucks $a\int P\,d\beta$, das Integral zwischen den Grenzwerthen des Quadranten genommen, und theilt das Resultat durch den entsprechenden Weg $\frac{a\pi}{2}$, so erhält man die mittlere Zugkraft der einzelnen Quadranten, bezüglich

$$\frac{2}{\pi}\left(2+\frac{r}{l}\right)\frac{Qr}{a},\ \frac{4}{\pi}\frac{Qr}{a},\ \frac{2}{\pi}\left(2-\frac{r}{l}\right)\frac{Qr}{a},\ \frac{4}{\pi}\cdot\frac{Qr}{a}.$$

Die mittlere Zugkraft während der ganzen Umdrehung ist somit $\frac{4Qr}{a\pi}$, so groß muß auch für den Gleichgewichtszustand der Bewegung der mittlere Widerstand der Bewegung sein. So lange die Zugkraft P kleiner bleibt als $\frac{4Qr}{a\pi}$, tritt eine kleine Verzögerung in der mittleren Bewegung der Locomotive ein, eine Beschleunigung aber, wenn $P > \frac{4Qr}{a\pi}$ ist. Eigentlich sollte in jedem Quadranten der Umdrehung einmal P seinen mittleren Werth überschreiten, so daß also während einer Umdrehung 4 Mal eine Beschleunigung und 4 Mal eine Verzögerung der Bewegung eintritt; die beschleunigende Kraft ist $P - \frac{4Qr}{a\pi}$, die verzögernde $\frac{4Qr}{a\pi} - P$. Entwickelt man aber für jeden Quadranten die Gleichung $P = \frac{4Qr}{a\pi}$, so erhält man je zwei Werthe für β, welche dem abwechselnden Uebergang der verzögerten in die beschleunigte Bewegung entsprechen; diese 8 Werthe sind, wenn wir $\frac{r}{l} = \frac{1}{5}$ setzen, angenähert:

$12^0\,18'$, $77^0\,42'$, $109^0\,13'$, $160^0\,47'$ im. im. $289^0\,13'$, $340^0\,47'$.

Die beiden Werthe des dritten Quadranten sind imaginär, was sich auch daraus erklärt, daß der Maximalwerth der Zugkraft im dritten Quadranten $1{,}214\,\frac{Qr}{a}$ immer noch kleiner ist als der mittlere Werth $\frac{4Qr}{a\pi} = 1{,}273\,\frac{Qr}{a}$

Deshalb ist der Verlauf der Bewegung während einer Umdrehung folgender:

Bei der Drehung von 0^0 bis $12^0\,18'$ ist die Bewegung verzögert, von $12^0\,18'$ bis $77^0\,42'$ ist sie beschleunigt, von da bis $109^0\,13'$ verzögert, dann bis $160^0\,47'$ beschleunigt, nun aber bis $289^0\,13'$ — also durch einen Bogen von $128^0\,26'$ hindurch — verzögert, sodann bis $340^0\,47'$ wieder beschleunigt und

zuletzt bis 360° wieder verzögert. Das Maximum der Geschwindigkeit wird bei 77° 42′, das Minimum bei 289° 13′ eintreten.

Bezeichnet v die Geschwindigkeit des Wagenzuges, wenn $\beta = o$ ist, also im Anfange einer einzelnen Drehung, und M das Gewicht des gesammten Wagenzuges, v′ die Geschwindigkeit nach der Drehung β, so ist für $\beta = o$ die lebendige Kraft (= Arbeitsmoment) des gesammten Wagenzuges $\frac{M v^2}{2 g}$, und dieses nimmt bei der Drehung β zu um $\frac{M (v'^2 - v^2)}{2 g}$. Hierbei wollen wir den von der Rotation der Räder und Axen herrührenden Theil nicht weiter beachten. Die Arbeit der beschleunigenden Kraft $P - \frac{4 Q r}{\pi a}$ während der Drehung β ist

$$a \int_0^{\beta} \left(P - \frac{4 Q r}{\pi a}\right) d\beta,$$ also wenn β innerhalb des ersten Quadranten bleibt

$$a \int_0^{\beta} \frac{Q r}{a} \left(\sin \beta + \cos \beta + \frac{r}{l} \sin 2\beta - \frac{4}{\pi}\right) d\beta =$$

$$Q r \left(1 + \frac{r}{2 l} \sin \beta - \cos \beta - \frac{r}{2 l} \cos 2\beta - \frac{4 \beta}{\pi}\right).$$

Dieser Werth muß dem vorigen $\frac{M (v'^2 - v^2)}{2 g}$ gleich sein, es ist also:

$$v'^2 = v^2 + \frac{2 Q r g}{M} \left(1 + \frac{r}{2 l} + \sin \beta - \cos \beta - \frac{r}{2 l} \cos 2\beta - \frac{4 \beta}{\pi}\right);$$

oder angenähert:

$$v' = v + \frac{Q r g}{M v} \left(1 + \frac{r}{2 l} + \sin \beta - \cos \beta - \frac{r}{2 l} \cos 2\beta - \frac{4 \beta}{\pi}\right).$$

Setzen wir $\beta + 77° 42'$, so folgt:

$$v' = v + 0{,}2282 \frac{Q r g}{M v}.$$

Die Arbeit der Beschleunigung im ganzen ersten Quadranten ist $\frac{Q r^2}{l} = 0{,}2\, Q r$, die im zweiten Quadranten ist 0, die im dritten $= -\frac{Q r^2}{l} = -0{,}2\, Q r$, hebt sich also mit dem Gewinn im ersten Quadranten auf, so daß das Arbeitsmoment, also auch die Geschwindigkeit bei $\beta = 270°$ eben so groß ist, als bei $\beta = 0$. Im vierten Quadranten beträgt für die Drehung von 270° bis β, der Zuwachs am Arbeitsmoment:

$$a \int_{270}^{\beta} \left(P - \frac{4\,Q\,r}{\pi\,a}\right) d\beta = a \int_{270^0}^{\beta} \frac{Q\,r}{a} \left(\cos\beta - \sin\beta - \frac{4}{\pi}\right) d\beta =$$

$$Q\,r \left(7 + \sin\beta + \cos\beta - \frac{4\,\beta}{\pi}\right).$$

Da auch dieſer Werth gleich $\frac{M\,(v'^2 - v^2)}{29}$ ſein muß, ſo folgt jetzt:

$$v' = v + \frac{Q\,r\,g}{M\,v} \left(7 + \sin\beta + \cos\beta - \frac{4\,\beta}{\pi}\right).$$

Für $\beta = 289^0\ 13'$ folgt:

$$v' = v - 0{,}0423\,\frac{Q\,r\,g}{M\,v}.$$

Der Unterſchied zwiſchen dem Minimum und dem Maximum der Geſchwindigkeit beträgt ſomit $0{,}2705\,\frac{Q\,r\,g}{M\,v}$, oder in Theilen der anfänglichen Geſchwindigkeit:

$0{,}2705\,\frac{Q\,r\,g}{M\,v^2}$.

Setzen wir die mittlere Zugkraft oder den mittleren Widerſtand $\frac{4\,Q\,r}{a\,\pi}$ für eine Bewegung auf horizontaler Bahn beiläufig $= \frac{1}{250}\,M$, ſo folgt $\frac{Q\,r}{M} = \frac{a\,\pi}{1000}$, und jenes Schwanken in der Geſchwindigkeit iſt jetzt: $0{,}0002705\,\frac{a\,g\,\pi}{v^2}$ $= 0{,}02656\,\frac{a}{v^2}$.

Setzen wir beiſpielsweiſe $a = 3'$, $v = 20$, ſo wird dieſer Ausdruck 0,0001992, der Zug ſchwankt alſo bei jeder Umdrehung der Treibräder in ſeiner Geſchwindigkeit um etwa 0,004 Fuß. Dieſes Beiſpiel mag zeigen, wie gering in der Regel dieſe Schwankungen ſind, doch zeigt uns noch der letzte Ausdruck, daß wenn M und v gering, Q und r aber groß ſind, was bei Berglocomotiven der Fall iſt, dieſes Schwanken auch bedeutender wird.

Aus der Vereinigung der beiden Kräfte P_1 und P_2 ergiebt ſich aber noch ein Kräftepaar, deſſen Moment $\frac{(P_1 - P_2)\,b}{2}$ iſt, und deſſen Wirkung gleich geſetzt werden kann dem Beſtreben zweier gleicher Kräfte $S = \frac{(P_1 - P_2)\,b}{2\,s}$, welche die Treibräder angreifen und bald rechts, bald links vorſchieben möchten. Die nähere Unterſuchung dieſer Kräfte muß wieder für jeden Quadranten beſonders angeſtellt werden, für uns kann es genügen, es nur für den erſten Quadranten zu thun. Die oben für P_1 und P_2 aufgeſtellten Werthe geben nun:

$S = \frac{Qrb}{2bs}(\sin\beta - \cos\beta)$; für $\beta = 0, 45^0, 90^0$, hat S den Werth

$$-\frac{Qrb}{2as}, \quad 0, \quad \frac{Qrb}{2as}.$$

d. h. für $\beta = 0$, will das linke Treibrad mit einem Druck $\frac{Qrb}{2as}$ voreilen, das rechte aber zurückbleiben, bei $\beta = 90^0$ ist es gerade umgekehrt, und für $\beta = 45^0$ ist das Bestreben beider Räder zur Fortbewegung dasselbe. Hierdurch wird das Bestreben erzeugt, die Locomotive um eine durch ihren Schwerpunkt gehende vertikale Axe zu drehen, und wenn auch die Spurkränze der Räder eine solche Drehung verhindern, auch die entgegengesetzten Drehbestrebungen schnell auf einander folgen, so tritt doch wegen des Spielraums, den die Räder noch zwischen den Schienen haben, ein kleines Schwanken der Locomotive ein. Um nun für die Größe dieser schwankenden Bewegung eine irgend faßbare Vorstellung zu gewinnen, so wollen wir mit U das Trägheitsmoment der Locomotive für eine durch ihren Schwerpunkt gehende vertikale Drehaxe bezeichnen und mit L den Abstand der vorderen Radaxe vom Schwerpunkt der Locomotive. Unser Kräftepaar (S, — S) mit dem Moment $Ss = \frac{Qrb}{2a}(\sin\beta - \cos\beta)$ läßt sich nun durch ein anderes ersetzen, dessen Kräfte die Richtung der Wagenaxen haben, die eine gehe durch den Schwerpunkt der Locomotive, die andere durch die vordere Radaxe; demnach hat jede dieser Kräfte eine Größe von $\frac{Ss}{L} = \frac{Qrb}{2aL}(\sin\beta - \cos\beta)$. Wir können also annehmen, daß die vordere Axe in ihrer eigenen Richtung diesen Druck erfährt und in Folge dessen eine Seitenbewegung annimmt mit der Geschwindigkeit w und dem Wege x. Die auf die vordere Wagenaxe reducirte Locomotivenmasse ist $\frac{U}{L^2}$, folglich die Beschleunigung der Seitenbewegung $\frac{dw}{dt} = \frac{Qrb}{2aL}(\sin\beta - \cos\beta) : \frac{U}{L^2} = \frac{QrbL}{2aU}(\sin\beta - \cos\beta)$. Ist v die mittlere Geschwindigkeit der Locomotive, so ist $a\beta = vt$, also $\frac{dt}{d\beta} = \frac{a}{v}$, also:

$$\frac{dw}{d\beta} = \frac{dw}{dt}\cdot\frac{dt}{d\beta} = \frac{QrbL}{2vU}(\sin\beta - \cos\beta), \text{ also:}$$

$w = \frac{QrbL}{2vU}(1 - \sin\beta - \cos\beta)$, wenn wir annehmen, daß $w = 0$ ist, wenn $\beta = 0$ ist.

Nun ist

$$\frac{dx}{dt} = w, \text{ also } \frac{dx}{d\beta} = w\frac{dt}{d\beta} = \frac{wa}{v} = \frac{QarbL}{2v^2U}(1 - \sin\beta - \cos\beta),$$

und hieraus folgt:

$$x = \frac{QarbL}{2v^2U}\left(\beta + \cos\beta - \sin\beta - \frac{\pi}{4}\right), \text{ wenn wir annehmen, daß}$$

$x = 0$ ist, wenn die ablenkende Kraft verschwindet, also für $\beta = 45^0$. Für $\beta = 0$ ist $x = \frac{Q a r b L}{2 v^2 U}\left(1 - \frac{\pi}{4}\right) = 0{,}1073 \frac{Q a r b L}{U v^2}$, und für $\beta = 90^0$ ist $x = -0{,}1073 \frac{Q a r b L}{U v^2}$. Bei der ersten Viertelsdrehung würde also der Wagen (wenn die Spurkränze nicht hinderten) nach rechts und nach links um diese Länge ausweichen und das Verhältniß dieser Ausweichung zur Länge der Fortschreitung wäre: $0{,}1073 \frac{Q a r b L}{U v^2} : a\frac{\pi}{2} = 0{,}0683 \frac{Q r b L}{U v^2}$.

Bezeichnet G das Gewicht der Locomotive, so können wir annähernd setzen: $U = \frac{1}{3}\frac{G L^2}{g}$, wobei g die Beschleunigung der Schwere bezeichnet; unsere Verhältnißzahl ist alsdann: $6{,}4 \frac{Q r b}{G L v^2}$. Die mittlere Zugkraft $\frac{4 Q r}{a \pi}$, darf nicht größer werden als $\frac{1}{6}$ der Treibräderbelastung, und setzen wir diese gleich $\frac{3}{5}$ des Locomotivengewichts, so ist etwa $\frac{4 Q r}{a \pi} = \frac{1}{10} G$, also $\frac{Q r}{G} = \frac{a \pi}{40}$. Hiernach geht unsere Verhältnißzahl über in die Form: $0{,}5 \frac{a b}{L v^2}$; und das Maximum der Ablenkung von der geraden Bahn wird sein:

$x = 0{,}785 \frac{a^2 b}{L v^2}$. Für $a = 3$, $b = 6$, $L = 9$ und $v = 20$ ist $x = 0{,}0118'$ oder etwa $^1/_7$ Zoll.

Bewegt sich nun die in diesem Beispiele gedachte Locomotive auf einem festen Wege frei, ohne Spurkränze, so würde sie in der Secunde etwa eine Umdrehung der Treibräder haben und von der geraden Linie vier Mal nach rechts und eben so oft Mal nach links um etwa $^1/_7$ Zoll abgewichen sein; wäre ihre Geschwindigkeit doppelt so groß, so betrüge ihre Ablenkung von der geraden Linie 4 Mal weniger, also etwa $^1/_{28}$ Zoll. Die bei mäßiger und schneller Bewegung der Locomotive hervorgebrachte Seitenbewegung bleibt also immer noch geringer als der Spielraum, den die Räder zwischen den Schienen haben, und wird somit nicht einmal bewirken, daß die Spurkränze an die Schienen gedrückt würden.

Da die beiden Kräfte S, — S im entgegengesetzten Sinne auf die Umdrehung der beiden Treibräder wirken, bewirken sie zugleich eine Torsion der Drehare, deren Moment $= 2 S a = \frac{Q r b}{s}(\sin \beta - \cos \beta)$ ist.

Diese Formel, so wie die nächst vorhergehenden und auch noch einige folgende, welche sich auf seitliche Störungen in der Bewegung des Locomotivkörpers beziehen, enthalten Werthe, die proportional mit der Entfernung b der beiden Kurbelebenen von einander sind.

Je kleiner b genommen werden kann, desto kleiner werden auch diese

Störungen, woraus dann folgt, daß es für die Stabilität der Locomotive von Vortheil iſt, wenn die Cylinder innerhalb der Räder angebracht ſind. Dennoch giebt man dieſen Vortheil gern auf, da durch außenliegende Cylinder andere, größere Bequemlichkeiten gewonnen werden.

Das Verhalten der Mittelkraft V und des Kräftepaares (T, — T) läßt ſich jetzt ſehr leicht überſehen, wenn man ſich aus den oben aufgeſtellten Formeln überzeugt, daß die Kräfte V_1 und V_2 ſtets proportional mit P_1 und P_2 verlaufen, ſo daß wir in der eben dargeſtellten Betrachtung überall nur d an die Stelle von a zu ſetzen haben, um ſofort Werthe zu erhalten, die ſich auf V und T beziehen. So wird der veränderliche Druck V, mit welchem beide Treibräder durch die Dampfwirkung gegen die Schienen gedrückt werden, dieſelben Perioden durchlaufen, wie ſie oben für die Zugkraft P berechnet ſind, und der mittlere additionelle Druck V wird den Werth $\frac{4\,Q\,r}{d\,\pi}$ haben. Setzen wir wieder wie oben $\frac{4\,Q\,r}{\pi} = \frac{a}{10}\,G$, wenn G das Gewicht der Locomotive bezeichnet, ſo iſt der mittlere additionelle Druck $= \frac{a}{10\,d}\,G$, und da die natürliche Belaſtung der Treibräder zu $\frac{3}{5}\,G$ angenommen iſt, ſo folgt für den additionellen Druck der relative Werth $\frac{a}{6\,d}$. Setzen wir $a = 3'$ und $d = 9'$, ſo wäre dieſer Werth $= \frac{1}{18}$, d. h. durch die Dampfwirkung wird der Druck der Treibräder gegen die Schienen um $\frac{1}{18}$ des bereits vorhandenen Gewichtsdrucks vermehrt. Obwohl durch dieſe Druckvermehrung auch die Adhärenz der Treibräder gegen die Schienen vermehrt wird, und damit die Möglichkeit gegeben wäre, die Zugkraft der Locomotive noch etwas zu ſteigern, ſo hat doch dieſer Werth keine praktiſche Bedeutung, weil doch dafür geſorgt ſein muß, daß die Adhärenz gegen die Schienen noch größer bleibe als die Zugkraft. Außerdem würde ſich bei gekoppelten Rädern dieſer Gewinn wieder aufheben, weil der Druck der vorderen Treibräder gegen die Schienen eben ſo viel verliert als der der hinteren gewinnt.

Noch weniger hat das Gegenpaar (T, — T) einen merkbaren Einfluß auf die Bewegung der Locomotive. Denn wenn auch dieſe Kräfte T, — T wirklich vorhanden ſind, welche die Locomotive abwechſelnd nach rechts und nach links umſtürzen wollen, ſo bleiben ſie doch in Vergleich gegen die wirkliche Belaſtung der Räder ſo klein, daß an eine Störung im Gleichgewicht der Bewegung nicht gedacht werden kann. Nur in ſofern die Schienen von Strecke zu Strecke als hohl liegend und als elaſtiſch angeſehen werden, bleibt ein faſt verſchwindend kleines Schwanken der Locomotive denkbar.

Eine andere Gruppe von Störungen als die bisher betrachteten, erleidet die Locomotive durch den Umſtand, daß einige ihrer Beſtandtheile, wie Kolben, Kolbenſtange, Treibſtange und Räder ſich gegen die übrigen Theile, die im ruhigen Verband bleiben, bewegen. Während Kolben, Kolbenſtange und Treibſtange vorwärts bewegt werden, haben ſie in der erſten Hälfte des Hubes eine beſchleunigte Bewegung und nehmen deshalb einen Theil der Arbeit der Zugkraft in ſich

auf, in der zweiten Hälfte des Hubes hingegen haben sie eine verzögerte Bewegung und geben die vorher aufgenommene Arbeit wieder ab; daher folgt, daß die wirklichen Werthe der Zugkraft P_1 und P_2 für die ersten Hälften der Hube etwas kleiner und für die zweiten Hälften etwas größer sind als die oben berechneten, so also, daß für den ersten und dritten Quadranten von βP_1 etwas kleiner und P_2 etwas größer sein wird, und umgekehrt für die zweiten und vierten Quadranten. Der oben berechnete Verlauf der Zugkraft P wird also durch diese Einwirkung um ein Geringes modificirt, und zwar um ein sehr Geringes, um so mehr als die Masse des Kolbens, der Kolben- und Treibstange gegen die Gesammtmasse des zu bewegenden Zuges nur sehr klein ist.

Die Centrifugalitäten der an der Locomotive rotirenden Massen heben sich dann auf, wenn der rotirende Körper in Bezug auf seinen Drehungsmittelpunkt symmetrisch ist; dies findet bei den Laufrädern statt, aber nicht bei den Treibrädern, hier bewirken die Kurbelwarze und die Treibstange eine einseitige Centrifugalität, die zunächst nachtheilig auf die Arenschenkel und Zapfenlager, dann aber auch auf die Stabilität der Locomotive wirken würde, wenn man sie nicht ausgleichen könnte. Bezeichnen wir mit M_1 die auf ihren Mittelpunkt reducirte Masse der Kurbelwarze, und mit M_2 die auf ihren Schwerpunkt reducirte Masse der Treibstange, und l_1 die Entfernung dieses Schwerpunktes vom Kolbenstangenende. Ist ferner w die Winkelgeschwindigkeit des Treibrades und g die Beschleunigung der Schwerkraft, so ist die Centrifugalität der Kurbelwarze $= \frac{M_1 r w^2}{g}$, die Centrifugalität der Treibstange in ihrem Schwerpunkte $= \frac{M_2 r l_1 w^2}{g l}$; dieselbe reducirt auf den Mittelpunkt der Kurbelwarze beträgt $\frac{M_2 r l_1^2 w^2}{g l^2}$, also ist die einseitige Centrifugalität jedes Treibrades

$$\frac{r (M_1 l^2 + M_2 l_1^2) w^2}{g l^2}.$$

Diese einseitige Centrifugalität kann dadurch aufgehoben werden, daß man am Treibrade der Kurbelwarze gegenüber in der Entfernung ϱ vom Mittelpunkt des Rades eine schwere Masse X anbringt, so daß die Centrifugalität derselben $\frac{X \varrho w^2}{g}$ der obigen Centrifugalität aufhebend entgegen wirkt. Hieraus folgt nun

$$X = \frac{r (M_1 l^2 + M_2 l_1^2)}{\varrho l^2}.$$

Beträgt das Gewicht M_1 der Kurbelwarze 100 Pfund, das der Treibstange 240 Pfd., ist der Kurbelradius $r = 1'$, die Länge der Treibstange $l = 5'$, ist ihr Schwerpunkt vom Kolbenstangenende um $l_1 = 3'$ entfernt und will man das Gegengewicht so anbringen, daß der Schwerpunkt desselben um $2^1/_2{}'$ von dem Radmittelpunkte entfernt liegt, so muß dasselbe schwer sein

$$\frac{1 (100 . 5^2 + 240 . 3^2)}{2^1/_2 . 5^2} = 72^{24}/_{25} \text{ Pfund.}$$

Literatur. Die wichtigſten hierher gehörenden Werke ſind:

Guide de mécanicien, constructeur et conducteur des machines locomotives par M. M. Lechatelier, Flachat, Petiet et Polonceau, Paris 1851, aus dem die oben mitgetheilte Tafel über die Dimenſionen einiger Locomotiven herrührt. Etudes sur la stabilité des machines locomotives, par Lechatelier, Paris 1849. Theorie de la stabilité des machines locomotives en mouvement, par Yvon Villarceau, 1852. In den Annales des Mines. Cinquième Serie. Tome III., 1853. Note sur la stabilité des machines locomotives, par Resal und des contrepoids appliqués aux roues motrices des machines locomotives, par Couche. Publication industrielle des machines ontils et appareils, par M. Armengand. Tome VII. 1851. Pambour's Werk Traité théorique et practique des machines locomotives, Paris 1840, deutſch Braunſchweig 1841, iſt veraltet. Unter den deutſchen Werken ſind zu nennen; Handbuch der Dampfmaſchinenlehre v. Bernoulli, 4. Aufl. Stuttgart, 1854. Lehrbuch der Ingenieur- und Maſchinenmechanik, v. Weisbach, Bd. III., Braunſchweig 1855. Deſſelben Verfaſſers Abhandlung: Die Mechanik des Dampfwagens, im Civil-Ingenieur, Bd. II. — Abbildung und Beſchreibung der Locomotivmaſchinen, von L. Heuſinger von Waldegge, Wiesbaden 1851 — 1854; ſo wie deſſen Organ für die Fortſchritte des Eiſenbahnweſens. Portfolio John Cockerill's, v. M. M. Freiherrn von Weber. Brüſſel, Leipzig 1855. W. S.

Löſung. Im I. Bd. S. 568 (Art. Auflöſung) ſcheint man die Unterſcheidung, welche ältere Chemiker zwiſchen Auflöſung und Löſung machten, aufrecht erhalten zu haben. Hiernach nannte man Löſung den Vorgang, wo eben nur eine Trennung des Zuſammenhanges bei dem aufgelöſten Körper ſtattfindet, wie z. B. bei der Löſung eines Salzes in Waſſer, Auflöſung dagegen denjenigen, wo gleichzeitig eine Wahlanziehung mit auftritt, wie z. B. beim Auflöſen von Natron in waſſerhaltiger Chlorwaſſerſtoffſäure. Als Unterſcheidungszeichen gab man auch an, daß man bei erſterer den aufgelöſten Körper ſehr leicht wieder mit ſeinen urſprünglichen Eigenſchaften abſcheiden könne, ſo z. B. aus den Löſungen in Waſſer durch Abkühlen oder Verdunſten des Löſungsmittels, oder bei Auflöſungen in Weingeiſt durch Zuſatz von Waſſer ꝛc., während dies bei den ſogenannten Auflöſungen nicht möglich ſei. Bei dem angeführten Beiſpiel würden wir auf die angegebene Art nicht Natron, ſondern Chlornatrium erhalten. Oder mit anderen Worten: in der Löſung bleibt der gelöſte Körper als ſolcher enthalten, während dies bei der Auflöſung nicht der Fall iſt.

Dieſe Unterſcheidung fand dadurch Eingang, daß man verſuchte ſich Rechenſchaft von dieſem Vorgange abzulegen. Man fragte ſich, wie man ſich ihn zu denken habe und ob derſelbe verſchieden ſei von dem einer chemiſchen Verbindung. In neuerer Zeit aber hat man ſie ganz aufgegeben, weil es in vielen Fällen ſich nicht entſcheiden läßt, ob hier eine Löſung oder Auflöſung vorliegt. Ins Reine hat man dieſe Frage jedoch noch nicht gebracht; und namentlich in neuerer Zeit hat man es weniger verſucht als früher.

Eine bloße mechaniſche Vertheilung eines Körpers in einer Flüſſigkeit kann man eine Löſung nicht nennen, da Gay-Luſſac*) gefunden hat, daß Salz-

*) Ann. de Chim. et de Phys. T. XI. p. 306.

löſungen, die in hohen, ſenkrecht geſtellten Glasröhren ſechs Monate lang aufbewahrt worden waren, genau denſelben Gehalt in den oberen und unteren Schichten zeigten. Wären die Salztheilchen einfach nur mechaniſch fein zertheilt in dem Löſungsmittel, alſo dem Geſetz der Schwere unterworfen geweſen, ſo wäre die vorſtehende Thatſache unmöglich. Man kann ferner nicht ſagen, daß bei der einfachen Löſung die chemiſche Verwandtſchaft durchaus nicht mit ins Spiel käme, denn ein Jeder weiß, daß man nicht einen jeden Körper in jeder beliebigen Flüſſigkeit auflöſen kann. Es tritt hier auch eine Art von Geſetz auf. So löſen ſich z. B. die Sauerſtoffſalze in Waſſer, das gleichfalls Sauerſtoff enthält, Metalle aber nur in einem Metall (dem Queckſilber), Verbindungen, die reich an Waſſerſtoff ſind, wie z. B. Oele, Fette, Harze, wiederum nur in ähnlichen Flüſſigkeiten, die ätheriſchen Oele und viele organiſche Stoffe in Alkohol und Aether, während letztere weniger befähigt ſind, die Sauerſtoffſalze aufzulöſen. Aber eben dieſe Verhältniſſe bedingen auch wieder einen weſentlichen Unterſchied mit der eigentlich ſogenannten chemiſchen Verwandtſchaft; letztere tritt am ſtärkſten auf, wenn die Körper ſich in ihren Eigenſchaften am unähnlichſten ſind, während bei der Löſung das Gegentheil ſtattfindet. Hierin nähert ſich die Kraft, durch welche die Löſung bedingt wird, wieder mehr der Cohäſionskraft. Dieſe ſpielt überhaupt bei dem Zuſtandekommen einer Löſung eine große Rolle. So löſen ſich z. B. diejenigen Salze in größter Menge auf, deren Cohäſion durch die Wärme am leichteſten überwunden wird. Die Cohäſion iſt es auch, welche zuletzt der Auflöslichkeit eines Körpers oder vielmehr der auflöſenden Kraft der Flüſſigkeit eine Grenze ſetzt. Je mehr letztere von einem Körper aufgenommen hat, um ſo langſamer nimmt ſie weitere Theilchen in ſich auf, bis ſie ſich endlich damit geſättigt hat, d. h. die Cohäſion des feſten Körpers nicht mehr zu überwältigen vermag. Bei flüſſigen Körpern iſt daher dieſe Grenze nicht geſetzt; Alkohol, Schwefelſäure ꝛc. löſen ſich in jedem Verhältniß im Waſſer auf.

Für das Auftreten wirklich chemiſcher Kräfte bei der einfachen Löſung ſpricht ferner der Umſtand, daß die Dichtigkeit der Löſungen *) größer iſt als das Mittel aus den Dichtigkeiten der einzelnen Beſtandtheile. Zwar iſt auch der Kochpunkt einer Löſung **), der nicht von der größeren oder geringeren Menge der gelöſten Subſtanz, ſondern von der Anziehung derſelben zum Löſungsmittel abhängt ***), immer höher als der des Löſungsmittels, jedoch bleibt dieſer bei anhaltendem Sieden, weil von dem einen Beſtandtheil mehr fortgeht als von dem anderen; nicht conſtant, wie dies bei wirklich chemiſchen Verbindungen der Fall iſt, ſo fern ſich nicht der Luftdruck ändert. Wie ſchwer es aber hält, hier eine ſcharfe Grenze zu ziehen, zeigt wiederum der Umſtand, daß es allerdings ſogenannte Löſungen giebt, wie z. B. gewiſſe Säuren und Alkohol bei einem beſtimmten Waſſergehalt, der keineswegs beſtimmten atomiſtiſchen Verhältniſſen entſpricht, die allerdings ihren Siedepunkt nicht verändern. Eben ſo giebt es auch auf der anderen Seite wieder einige chemiſche Verbindungen, die ſich in dem einen oder dem anderen Punkte wiederum ganz wie Löſungen verhalten. Man thut daher am Beſten die Löſungen

*) Pogg. Ann. Bd. XII. S. 477. Liebig's Ann. Bd. XXVIII. S. 145.
**) Pogg. Ann. Bd. II. S. 227. Liebig's Ann. Bd. XVII. S. 29.
***) So kochen z. B. eine Löſung von 70 Proc. Zucker in Waſſer, die am Aräometer 23° R. zeigt, und eine von 33 Proc. Chlornatrium, die nur 20° zeigt, beide bei 105° C.

gleichſam als Uebergangs- oder Vermittelungsſtufe zwiſchen die mechaniſchen Gemenge und chemiſchen Verbindungen hinzuſtellen und als Hauptunterſchied eben die ſchwankenden Verhältniſſe der einzelnen Beſtandtheile anzunehmen. Man kann ſagen, daß hier eine Verbindung in unbeſtimmten Verhältniſſen ſtattfinde, denn eben ſo wie ſich eine gewiſſe Menge eines Körpers in einer beliebig großen Menge Waſſer auflöſt, löſt auch eine gewiſſe Menge Waſſer eine beliebig große Menge dieſes Körpers auf, vorausgeſetzt, daß letztere geringer iſt als die, durch welche das Waſſer geſättigt wird *).

Die Umſtände, welche auf die Löslichkeit einer Subſtanz Einfluß haben, ſind bereits Bd. I. S. 568 angeführt worden. Die gründlichſten Unterſuchungen hierüber verdanken wir Gay-Luſſac **).

In neueſter Zeit hat Kremers eine Arbeit geliefert über den Zuſammenhang des ſpecifiſchen Gewichtes chemiſcher Verbindungen mit ihrer Auflöslichkeit in Waſſer ***) und in einer zweiten hat er es verſucht die relative Löslichkeit der Salze aus ihrer Conſtitution abzuleiten ****). Neben den von ihm ſelbſt angeſtellten Löslichkeitsbeſtimmungen hat er auch die anderer Forſcher zur Conſtruction von Curven benutzt, auf welche Art man am beſten die verſchiedene Löslichkeit der Salze bei verſchiedenen Temperaturen überſichtlich darſtellen kann.

Zuweilen vermag eine Salzlöſung von einem anderen Salze mehr aufzulöſen als das reine Waſſer; dies iſt z. B. beim Salpeter der Fall, deſſen Auflöslichkeit in einer Löſung von Kochſalz oder ſalpeterſaurem Kalk bedeutend größer iſt; eben ſo wird die Auflöslichkeit des Kochſalzes in Waſſer durch einen Zuſatz von Alaun oder Gyps geſteigert. Dieſe Verhältniſſe, die wahrſcheinlich durch die Bildung von Doppelſalzen bedingt werden, ſind für die Praxis von Wichtigkeit und verdienen deshalb genauer unterſucht zu werden. Setzt man zu einer Löſung einen Körper, der in dem Löſungsmittel leichter löslich iſt als der bereits darin enthaltene Körper, ſo wird dieſem durch jenen ein Theil des Löſungsmittels entzogen und er ſcheidet ſich aus. So fällt z. B. Chlorbaryum aus ſeiner Löſung durch Zuſatz von Salzſäure nieder, viele Salze durch Alkohol und die Harze aus ihrer Löſung in Alkohol wiederum durch Zuſatz von Waſſer. Sättigt man Waſſer mit zwei Salzen, die nicht zerſetzend auf einander wirken, vollſtändig, ſo daß noch ein Ueberſchuß beider ungelöſt bleibt, ſo finden ſich beide Salze in der geſättigten Löſung bei derſelben Temperatur ſtets in demſelben Verhältniß. Man hat alſo hier eine Art von conſtanten Miſchungsgewichten, die aber durchaus von der Temperatur abhängig ſind und ſich dadurch weſentlich von den Aequivalenten der chemiſchen Verbindungen unterſcheiden *****). Daſſelbe findet auch ſtatt bei drei und mehreren Salzen.

Eine geſättigte Löſung ſetzt im Allgemeinen, wenn ſie ſich abkühlt, einen

*) Gilbert's Ann. Bd. XI. S. 175, Bd. XXV. S. 140 u. 270, Bd. XXX. S. 12, Bd. XXXIX. S. 366 u. Bd. XLVII. S. 28. Liebig's Ann. Bd. XXIII. S. 80. Journ. f. prakt. Chem. Bd. V. S. 66.

**) Ann. de Chim. et de Phys. T. XI. p. 296.

***) Pogg. Ann. Bd. LXXXV. S. 37 und 216.

****) Pogg. Ann. Bd. XCII. S. 497.

*****) Karſten: Journ. f. prakt. Chemie. Bd. XXII. S. 247 u. 367. Man vergleiche hiermit die Angaben von Kopp, Liebig's Ann. Bd. XXXIV. S. 260.

Theil des aufgelöſten Salzes in Kryſtallen ab, da eben die Menge des Salzes, welche das Waſſer aufzulöſen vermag, von der Temperatur abhängt. Nun aber können wir unter Umſtänden eine geſättigte Löſung erkalten laſſen und doch bleibt die ganze Menge des Salzes in Auflöſung. Eine ſolche Löſung nennt man in Beziehung darauf, daß ſie eine Löſung von viel größerer Concentration bildet als eine unter gewöhnlichen Umſtänden erkaltete, *überſättigt*. Dieſe intereſſante Erſcheinung iſt bereits früher von verſchiedenen Forſchern unterſucht worden, namentlich von *Gay-Luſſac*, *Zig*, *Ogden* und *Thénard* *). Die von dieſen gefundenen Thatſachen waren aber bereits faſt in Vergeſſenheit gerathen, als *Loewel*, Chemiker in Munſter (Frankreich) **) von Neuem die Aufmerkſamkeit darauf lenkte. Am beſten operirt man mit einer Glauberſalzlöſung, die bei 33° C. geſättigt worden iſt, weil bei dieſer Wärme das Waſſer die größte Menge davon aufzunehmen vermag. Läßt man ſie in einem verſchloſſenen Gefäße ruhig erkalten, ſo bleibt alles Salz in Auflöſung; es ſcheidet ſich aber und zwar unter bedeutender Wärmeentwickelung aus, ſobald man das Gefäß öffnet. Eine ſolche Löſung iſt am Beſten mit Waſſer zu vergleichen, das unter 0° abgekühlt worden iſt und nun bei der geringſten Erſchütterung die gebundene Wärme abgiebt und kryſtalliſirt, d. h. gefriert. Das Gleiche tritt ein, wenn man in eine ſolche Löſung einen Kryſtall bringt; daher kommt es auch, daß bei einer langſamen oder freiwilligen Verdunſtung einer Löſung die Kryſtalle oft nicht an der Oberfläche entſtehen, obgleich hier doch die Entziehung des Waſſers ſtatt hat, ſondern daß die Ausſcheidung des Salzes durch einen bereits am Boden liegenden Kryſtall bewirkt wird. Durch die anziehende Wirkung, welche dieſer Kryſtall auf die Salztheilchen in der Löſung ausübt, führt der letztere aus dem Zuſtande der Ueberſättigung in den der Sättigung zurück. Hierbei bilden ſich nicht neue Kryſtalle, ſondern der Kryſtall, welcher die Ausſcheidung bedingt, vergrößert ſich.

Löwel ſchmolz eine überſättigte Glauberſalzlöſung in Röhren von 18^{mm} Durchmeſſer ein. Die eine Röhre enthielt nur die Löſung, in eine zweite that er ſcharfkantige Glasſtücke und in eine dritte einige Stücke Platindraht. Selbſt nach monatelangem Aufbewahren bei einer Temperatur von + 15 bis 20° C. war keine Kryſtalliſation zu bemerken und eben ſo wenig trat beim heftigſten Schütteln irgend eine Ausſcheidung ein. Dadurch hat er bewieſen, daß das Erſtarren einer überſättigten Glauberſalzlöſung vollkommen unabhängig iſt von mechaniſcher Erſchütterung und von der Zeit. Kühlte er die Röhren bis auf 6 oder 7° C. ab, ſo trat eine in allen 3 Röhren nicht merklich verſchiedene Kryſtalliſation ein, die zwar mit der Erniedrigung der Temperatur zunahm, aber doch nicht in einem ſolchen Grade, daß die Auflöſung aufgehört hätte, eine überſättigte zu ſein. Uebrigens verſchwand die Ausſcheidung wieder, ſobald die Röhren auf die frühere Temperatur von 20° gebracht wurden. Oeffnete er die Röhren, ſo kryſtalliſirte die abgegoſſene Mutterlauge ſogleich zu dem gewöhnlichen ſchwefelſauren Natron ($NaO, SO^3 + 10\ HO$), während die ausgeſchiedenen Kryſtalle nur 7 Atome HO enthalten und nicht 8 Atome, wie es früher *Faraday* und *Zig* ***) angegeben hatten. Dieſe werden beim Berühren mit einem Glasſtabe und zwar von dem

*) *Gmelin's* Handbuch der Chemie. Bd. I. S. 11.
**) Compt. read. T. XXX. p. 164 u. T. XXXII. p. 907.
***) *Gmelin's* Handbuch der Chemie. Bd. II. S. 100.

Punkt aus, wo die Berührung ſtattfand, undurchſichtig; daſſelbe tritt auch nach einiger Zeit beim bloßen Liegen an der Luft ein.

Die Löſungen des Salzes $NaO, SO^3 + 7\,HO$ laſſen ſich, lediglich durch eine Glasglocke von der Luft abgeſchloſſen oder in langen offenen Röhren von geringem Durchmeſſer, ſehr lange im überſättigten Zuſtande erhalten. Wird die Glocke abgehoben, ſo tritt ſogleich die Kryſtalliſation ein und zwar die des gewöhnlichen Salzes. Durch bloße mechaniſche Erſchütterung wird ſie nicht bewirkt, eben ſo wenig durch einen galvaniſchen Strom, ſelbſt wenn derſelbe das Waſſer zerſetzt; wohl aber tritt ſie ſofort ein, wenn man einen Glauberſalzkryſtall hineinbringt. Dieſelbe wird ebenfalls raſch bewirkt, wenn man die Löſung mit einem Glas- oder Metallſtab berührt, der längere Zeit der Luft ausgeſetzt war. Merkwürdigerweiſe verlieren aber beide dieſe Wirkung gänzlich, wenn ſie vorher geglüht oder ſorgfältig mit deſtillirtem Waſſer abgewaſchen worden ſind. Durch Liegen an der Luft erhalten ſie aber in kurzer Zeit die Fähigkeit wieder die Kryſtalliſation hervorzurufen, aber nicht ſobald man ſie durch einen Kork geſteckt in einem mit dieſem verſchloſſenen Glaſe aufbewahrt, ſo daß ſie alſo vom freien Luftwechſel ausgeſchloſſen ſind. Ueber die Urſachen dieſer merkwürdigen Erſcheinungen giebt Loewel keine Deutung; er hält ſie für Contactwirkungen.

Die Temperaturerhöhung bei der Kryſtalliſation von überſättigten Löſungen, ſo wie bei der Umwandlung des feſten Salzes $NaO, SO^3 + 7\,HO$ in das gewöhnliche, iſt ſehr beträchtlich. Loewel beobachtete bei erſterer eine Erhöhung von $16^0{,}25$ auf 30^0 und bei letzterer von 13^0 auf $22^0{,}5$, ohne jedoch die geringſte Elektricitätsentwickelung wahrzunehmen.

Außer bei dem ſchwefelſauren Natron kann man die merkwürdigen Eigenſchaften der überſättigten Löſungen beſonders bei dem ſelenſauren, dem kohlenſauren Natron und dem Alaun ſtudiren; doch ſind auch dieſe nicht die einzigen.

Nach Loewel verſuchte es Goskinsky *) eine Theorie für die abnorme Kryſtalliſation des Glauberſalzes aufzuſtellen. Als erſte Urſache ſieht er Luft an, welche noch nicht mit Feuchtigkeit geſättigt iſt, ſie nimmt von der erſten Schicht Waſſer als Dampf in ſich auf und bedingt dadurch das Beginnen der Ausſcheidung an der Oberfläche der Flüſſigkeit. Die hier ausgeſchiedenen kleinen Kryſtalle bilden nun weitere Centra für die Anziehung der Kryſtalliſationskraft und ſo ſchreitet die Kryſtalliſation raſch durch die übrige Flüſſigkeit fort. Später hat Lieben **), geſtützt auf eine Reihe von Verſuchen, eine andere eigenthümliche Erklärung für dieſe Erſcheinung gegeben. Er meint nämlich, die Luft wirke auf die Löſungen nur durch den ſtets in ihr ſuspendirten Staub, indem er beim Oeffnen des Gefäßes, beſonders aber beim Schütteln an der Luft, mit der Flüſſigkeit in vielfache Berührung kommt und dadurch das Erſtarren derſelben einleitet. Er bringt nämlich an den Berührungsſtellen die Molecüle einander näher; es entſtehen kleine Kryſtalle, die ſich ſogleich wie in einer Mutterlauge vergrößern, nur daß bei der außerordentlichen Concentration der Löſung dieſes Anwachſen ſo raſch und vollſtändig vor ſich geht, daß faſt die ganze Flüſſigkeit erſtarrt. So erklärt ſich denn auch auf einfache und naturgemäße Weiſe die wunderbare Wir-

*) Compt. rend. T. XXXII. p. 717.
**) Sitzungsb. d. Wien. Akad. Math. naturw. Kl. Bd. XII. S. 771.

kung des Glasſtabes oder eines jeden anderen Körpers, der an freier Luft liegt. Er iſt nämlich mit einer Staubſchicht bedeckt, die durch Adhäſion und Feuchtigkeit an ſeiner Oberfläche feſtgehalten wird, und dieſer Staub iſt es, der die beſchriebene Wirkung auf die überſättigte Löſung ausübt. Wird er durch Glühen, da er organiſcher Natur iſt, zerſtört oder durch ſorgfältiges Abwaſchen entfernt, ſo hört natürlich auch die Wirkung auf, da eine Bewegung, die durch mechaniſche Einwirkung hervorgerufen iſt, für ſich allein, wie Bertholet glaubte, nicht im Stande iſt, das plötzliche Erſtarren einer überſättigten Löſung hervorzurufen. Laſſen wir ihn anderſeits auch nur kurze Zeit in der freien Luft liegen, ſo bedeckt er ſich wieder mit einer Staubſchicht und dieſe verleiht ihm die geraubte Kraft wieder. Hiermit tritt dieſe Erſcheinung in den Bereich gewöhnlicher und bereits bekannter Kräfte. Es iſt eine jener zahlreichen Wirkungen der geſteigerten Adhäſion, wie ſie Körper in feiner Vertheilung hervorzurufen im Stande ſind, und geeignet auf manche noch dunkle Thatſache ein erhellendes Licht zu werfen.

Die Beweiſe für dieſe einfache Erklärung finden wir darin, daß ein Glasſtab, auf welche Art er auch von dem anhängenden Staube befreit worden war, eben keine Wirkung ausübte, während dieſe ſofort wieder eintrat, wenn ein ſolcher Glasſtab auf einer ſtaubigen Glastafel hin und her gerollt worden war, ſich alſo wieder mit Staub bedeckt hatte. Daſſelbe war der Fall, wenn man Luft, die vorher auf das Sorgfältigſte von dem darin enthaltenen Staube befreit worden war, durch eine überſättigte Löſung hindurchgehen ließ, während ſolche im natürlichen Zuſtande, wo ſie alſo mit Staub beladen iſt, ſchon nach wenigen Minuten das Feſtwerden der Löſung veranlaßt. Eben ſo wie der Staub leiten auch andere feinzertheilte Körper, z. B. Ruß, Platinmohr die Kryſtalliſation augenblicklich ein. — Dieſelbe Anſicht, welche Lieben durch eine Reihe von Verſuchen bewieſen hat, iſt bereits früher ſchon von Heintz*) als ſehr wahrſcheinlich ausgeſprochen worden.

Als Urſache des Beſtehens der überſättigten Löſung ſieht Lieben, eben ſo wie Loewel, den Uebergang des Salzes $NaO, SO^3 + 10\,HO$ in das Salz $NaO, SO^3 + 7\,HO$ an. Eine geſättigte Löſung von Glauberſalz ſetzt beim Erkalten darum keine Kryſtalle ab, weil der Theil des Salzes, der ſich dadurch ausſcheiden konnte, in das Salz $NaO, SO^3 + 7\,HO$ übergeht; das Waſſer, das dadurch frei wird, dient nur zur Löſung dieſes Salzes. Demnach exiſtirt nicht einmal eine überſättigte Löſung, ſondern nur eine Miſchung der geſättigten Löſungen der Salze mit 10 und 7 Atomen Waſſer. W. B.

Löthen, souder, soldering nennt man die in der Technik häufig vorkommende Operation, durch welche zwei Metallſtücke durch Schmelzen eines leichter flüſſigen oder auch deſſelben Metalles feſt mit einander vereinigt werden. Das Metall, durch welches die Vereinigung bewirkt wird, nennt man das Loth, soudure. Die Hauptbedingung hierbei iſt die, daß das Loth die Eigenſchaft beſitzen muß, mit den zu löthenden Metallen, wenigſtens an deren Oberfläche, eine Legirung einzugehen, wodurch eben dies innige Anhaften des geſchmolzenen Metalles bewirkt wird. Das Löthen hat ganz denſelben Zweck beim Metallarbeiter, welchen der Holzarbeiter durch das Leimen erreicht; es geſtattet unzählbare Arten der Vereinigung

*) Jahresb. d. naturw. Vereins zu Halle 1852. S. 49.

und die beliebigſten Formen der anzufertigenden Gegenſtände herzuſtellen, ſei es aus ein und demſelben Metall, wobei aber die verſchiedenen Theile auf verſchiedene Art bearbeitet ſein können, oder aus verſchiedenen Metallen. Je nach den Metallſtücken, die vereinigt werden ſollen, iſt aber auch das Loth ein verſchiedenes.

Am häufigſten bedient man ſich der Legirungen aus Zinn und Blei, die man ihrer leichten Schmelzbarkeit wegen Weich- oder Schnellloth, soudure tendre, soft soldering nennt. Je nach den Verhältniſſen, in denen man dieſe Metalle zuſammenſchmilzt, kann man leichter oder ſchwerer ſchmelzbare Legirungen darſtellen. Das ſchwache Schnellloth (2 Zinn und 1 Blei) ſchmilzt bei 171°, das Sicker- oder Sicherloth (63 Zinn und 37 Blei) bei 180° und das ſtarke Schnellloth (1 Zinn und 2 Blei) bei 252°,5. Bei der Bereitung dieſer Legirungen bedient ſich der Arbeiter weder des reinen Zinnes noch einer Wage; beim Zuſammenſchmelzen des Bleies und bleihaltigen Zinnes tarirt er die Mengen nach Gutdünken. Die Praxis hat ihm Fingerzeige an die Hand gegeben, durch welche er die Tauglichkeit der Legirungen für den ſpeciellen Zweck, freilich nach einigem Probiren, ſicher erkennt. Nach Entfernung der Oxydhaut, die ſich beim Schmelzen auf der Oberfläche gebildet hat, läßt er eine Probe raſch erkalten und beobachtet nun die Kryſtalliſationserſcheinungen (die Blumen), welche ſich auf der Oberfläche zeigen. Heben ſie ſich recht ſcharf und glänzend von dem mattweißen Grunde ab, ſo iſt die Legirung gerathen, wenn nicht, ſo muß noch mehr Zinn hinzugeſetzt werden. Fehlt es auf der anderen Seite an Blei, ſo erkennt man dies an blaſenförmigen Erhöhungen.

Das Schnellloth kommt beſonders in Anwendung bei verzinntem Eiſenblech, Zink, Meſſing, Blei und Zinn, überhaupt bei Gegenſtänden, welche wohl eine Vereinigung ihrer Theile, aber keine große Feſtigkeit erheiſchen oder auch bei Arbeitsſtücken, die bei der großen Hitze, die zum Hartlöthen erforderlich iſt, ſchmelzen oder an ihrer äußeren Bearbeitung Schaden leiden könnten: endlich auch in jenen Fällen, wo eine ſchnelle Vereinigung von Stücken, oft nur für vorübergehende Zwecke, zu bewerkſtelligen iſt. So findet z. B. das Weichlöthen auch dadurch in Werkſtätten vielfache Anwendung, daß man mehrere Stücke durch Zinnloth vereinigt und ſie alsdann entweder durch die Feile im Schraubſtock oder auf der Drehbank mit einem Male der Genauigkeit und Schnelligkeit wegen bearbeitet und dieſelben nach der Vollendung durch Erwärmen wieder trennt oder daß man Stücke, die abgedreht werden ſollen, auf einem Futter der Drehbank weich auflöthet. Es laſſen ſich hierdurch die mannichfaltigſten Gegenſtände ſchnell und feſt aufſpannen, das Stück wird bei einiger aufmerkſamen Behandlung gut rund laufen und jede Bearbeitung auf der Drehbank ſowohl äußerlich wie von innen leicht zulaſſen. Bei den großen Vortheilen, welche dieſe Methode liefert *), muß man ſich ſehr wundern, daß ſie in vielen Werkſtätten noch unbekannt iſt, wenigſtens keine Anwendung findet.

Durch einen Zuſatz von $^1/_8$ bis $^1/_2$ ſeines Gewichtes an Wismuth zu dem Schnellloth erhält man Legirungen, die bei 160 und 240° ſchmelzen; ſie ſind jedoch ſehr ſpröde. Noch mehr gilt dies von den ſogenannten leichtflüſſigen Legirungen, die man nur da verwenden kann, wo die gelötheten Stellen nicht beſonders großen Widerſtand zu leiſten haben.

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXIII. S. 5.

Mannichfaltiger ſind die Legirungen zu den harten Löthungen, soudure forte ou brasure, hard soldering or brazing. Sie finden bei ſolchen Gegenſtänden Verwendung, welche eine bedeutende Feſtigkeit erlangen ſollen, dem Hämmern oder Biegen unterworfen werden, oder welche beim Gebrauche einem höheren Wärmegrade ausgeſetzt ſind, der aber natürlich nicht bis zur Schmelzbarkeit des Lothes reichen darf. Bei Eiſen, Kupfer und Meſſing nimmt man am häufigſten das ſogenannte Schlagloth, d. h. Meſſing, dem noch Zink zugeſetzt worden iſt. Sie werden jedes für ſich geſchmolzen und dann das Zink dem Meſſing unter fleißigem Umrühren beigemiſcht. Man gießt das Ganze über einen Beſen in Waſſer, um die Legirung zu körnen. Je größer der Zinkzuſatz iſt, um ſo leichter ſchmilzt die Legirung; aber in demſelben Maße nimmt auch die Sprödigkeit zu, die Zähigkeit und Hämmerbarkeit nimmt hingegen ab und eben ſo verliert auch die Farbe an Schönheit. Letzterem hilft man ab durch einen Zuſatz von Zinn und zwar von 2 Th. auf 18 Th. Meſſing und 3 Th. Zink oder von 3 Th. auf 12 Th. Meſſing und 4 Th. Zink oder von 1 Th. auf 16 Th. Zink und 16 Th. Kupfer. Gewöhnlich bereitet man das Schlagloth für Meſſing aus 2 bis 3 Th. Meſſing und 1 Th. Zink und für Kupfer und Eiſen aus 7 Th. Meſſing und 1 Th. Zink. Man verfertigt ſich jedoch Schlagloth von verſchiedener Schmelzbarkeit, um bei Gegenſtänden, welche mehreren Löthungen unterworfen werden müſſen, beim nachfolgenden Löthen die ſchon gelötheten Stellen oder den Gegenſtand ſelbſt nicht zu gefährden und in Rückſicht auf das ſtrengflüſſigere nennt man auch hier das leichtflüſſigere Schnellloth. Bei gehöriger Gewandtheit kann man aber auch Gegenſtände mehrere Male mit einem und demſelben Schlaglothe löthen, beſonders wenn man die ſchon gelötheten Stellen durch Beſtreichen mit Lehm ſchützt. — Eiſen löthet man auch durch reines Zinn, wenn die gelöthete Stelle nicht wieder erhitzt wird. Dem Löthen geht dann ein Verzinnen der Flächen voraus. Beim Kupfer und Meſſing bedient man ſich auch des ſogenannten Silberlothes, einer Legirung aus 5 Th. Silber, 6 Th. Meſſing und 2 Th. Zink. 100 Th. Kupfer mit 25,20 oder 16 bis 18 Th. Blei geben gleichfalls ein gutes Loth von der Farbe des Kupfers. Um Silber zu löthen ſchmilzt man feines Silber mit Meſſing zuſammen im Verhältniß von 4 : 3 oder 2 : 1 (hartes Silberſchlagloth). Eine leichter flüſſige Legirung bereitet man aus 12löthigem Silber und Zink (7 : 1 oder 16 : 3). Ein Zuſatz von Zink bewirkt auch bei Neuſilber daſſelbe; einer ſolchen Legirung bedient man ſich beim Löthen des Neuſilbers.

Gold löthet man mit einer Legirung von Gold und Silber, Gold und Kupfer oder aller drei Metalle. Man muß aber hierbei darauf Rückſicht nehmen, daß das Gold um ſo leichter ſchmilzt, je ſtärker es legirt iſt. Ein von den Goldarbeitern wegen ſeiner großen Leichtflüſſigkeit ſehr gelobtes Goldſchlagloth beſteht aus 55 Th. Silber, 12 Th. Gold, 28 Th. Kupfer und 5 Th. Zink. Man ſchmilzt die drei erſten Metalle unter einer Decke und ſetzt, nachdem ſich der Tiegel etwas abgekühlt hat, das Zink unter Umrühren zu, wobei man nicht verhindern kann, daß ein kleiner Theil des Zinks verbrennt. Man kann dieſe Legirung aber nicht anwenden, wenn die Waaren gefärbt werden ſollen, weil ſie dadurch ſchwarz wird. — Platin löthet man mit feinem Gold. — In Dingler's polyt. Journ. Bd. LXXXIII. S. 236 findet man noch verſchiedene andere Legirungen, deren man ſich zum Löthen bedient, angegeben.

Beim Löthen muß man vor allen Dingen dafür ſorgen, daß die Oberflächen

derjenigen Stellen, die vereinigt werden ſollen, durchaus frei von Oxyd ſind, da oxydirte Flächen das Loth nicht annehmen. Man reinigt ſie daher vorher durch Abſchaben oder auf irgend eine andere Weiſe. Aus demſelben Grunde muß man daher auch dafür ſorgen, daß ſich während der Operation ſelbſt nicht wieder Oxyd bildet. Man muß alſo die Luft, die ſich mit dem erwärmten Material ſehr leicht verbindet, abhalten und zwar um ſo ſorgfältiger, je ſtärker das Metall erhitzt wird. Dies erreicht man auf verſchiedene Weiſe. Die Schloſſer umkleben gewöhnlich die Löthſtellen, nachdem das Loth zwiſchengebracht iſt, mit Lehm und erhitzen nach dem Trocknen deſſelben das Metall. Bei den Weichlothen ſtreut man auch Colophonium auf, das nach dem Schmelzen auch theilweiſe verkohlt und dadurch reducirend wirkt. Durch aufgeſtreuten Salmiak wird das Oxyd gleichfalls beſeitigt. Am beſten iſt das ſogenannte Löthwaſſer, eine in der Wärme völlig geſättigte Auflöſung von Zink in Salzſäure, der man auch noch Salmiak hinzuſetzt. Am deutlichſten zeigt ſich die energiſche Wirkung dieſes Mittels, wenn man galvanoplaſtiſche Abformungen, z. B. von Holzſchnitten auf der Rückſeite mit leichtflüſſigem Metall ausgießt, um ihnen die gehörige Feſtigkeit zu geben. Das geſchmolzene Metall dringt mit der größten Leichtigkeit und Schnelle in alle Ecken und Vertiefungen ein; ohne das Löthwaſſer würde man ſich vergebens bemühen ein gleiches Reſultat zu erhalten. Da, wo die Löthungen auf der Außenſeite nicht bemerkt werden ſollen, muß man, beſonders wenn die Farbe des Metalles durch das Loth verändert wird, mit dem Löthwaſſer höchſt vorſichtig operiren; es verbreitet ſich ſehr leicht weiter und ſo weit geht dann auch das Loth. In einigen Fällen muß ſeine Anwendung, trotz des ſicheren Erfolges, dennoch ganz vermieden werden, da es brechenerregend wirkt; ſo z. B. beim Verlöthen der Büchſen, in denen man Lebensmittel aufbewahrt.

Beim Hartlöthen wendet man zu gleichem Zweck Borax, Glaspulver oder ein Gemiſch beider an. Beide bilden nach dem Schmelzen nicht allein einen ſchützenden Ueberzug, ſondern ſie löſen gleichzeitig auch das bereits vorhandene Oxyd auf. Das Glaspulver, das beſonders bei ſehr hohen Temperaturen zur Anwendung kommt, hat aber den Nachtheil, daß es wegen ſeiner Härte beim Entfernen von den gelötheten Stellen die Feilen ſehr leicht ſtumpf macht.

Eben ſo ſchädlich, wie auf den Löthſtellen iſt das Oxyd auch auf dem Löthkolben, dem Inſtrument, durch welches das Löthen bewerkſtelligt wird. Es iſt dies ein an einem Eiſenſtabe befeſtigtes prismatiſches Stück Kupfer; da das Eiſen die Wärme ſehr leicht leitet, verſieht man den Stab mit einer Handhabe von Holz. Man erhitzt das Kupferſtück zwiſchen Kohlen, wobei man aber ein Glühen vermeidet, weil ſich dann ſehr leicht eine dicke Oxydſchicht erzeugen würde. Ganz kann man aber die Oxydation nicht vermeiden; iſt die Oxydſchicht bedeutend, ſo entfernt man ſie an dem vorderen zugeſchärften Ende, das zum Löthen beſtimmt iſt, durch Klopfen oder mittelſt einer Feile und die letzten Reſte durch Beſtreichen mit Salmiak, worauf man ſogleich dieſen Theil verzinnt, wie der Arbeiter ſagt, d. h. mit dem Loth überzieht, um eine neue Oxydation zu verhindern. Durch Hin- und Herfahren mit dem heißen Kolben auf dem Loth, das man zwiſchen die zu verbindenden Metallflächen gebracht hat, und auf dieſen ſelbſt bringt man das Loth zum Schmelzen und drückt nun die Flächen mit einem kalten Körper zuſammen, bis das Loth wieder erſtarrt und feſt geworden iſt. Löthkolben aus Kupfer ſind denen aus Eiſen vorzuziehen, weil letztere ſchlechtere Leiter der Wärme

ſind und ſich viel leichter oxydiren. Oft kommt es vor, daß die Gegenſtände, welche gelöthet werden ſollen, eine ſolche Form haben, daß man mit dem Löthkolben nicht zu den betreffenden Stellen gelangen kann. Hier hilft man ſich auf die Art, daß man in eine Oeffnung deſſelben kupferne Stifte ſteckt.

Das Hartloth kann man durch bloßes Auflegen des Löthkolbens nicht ſchmelzen. Hier bedient man ſich der Löthrohrflamme oder eines Gebläſes (ſ. a. d. Art. Löthrohr und Gebläſe). In den techniſchen Werkſtätten Englands hat ſeit längerer Zeit zu dieſem Zweck, ſo wie zum Löthen überhaupt, das gewöhnliche Leuchtgas eine nützliche und weit verbreitete Verwendung gefunden. Karmarſch beſchreibt drei Methoden der Löthung mit Gas *). Für kleine Löthungen wendet man eine einfache Gasflamme an, die aus einem Brenner mit einer einzigen kleinen Oeffnung ſtrömt und mittelſt des Löthrohres eben ſo auf die Löthſtelle getrieben wird, wie eine Kerzen- oder Oellampenflamme. Zu größeren harten Löthungen, z. B. bei Silber, Neuſilber ꝛc. dient ein Apparat, der dem Princip ſeiner Wirkung nach mit dem erſten Verfahren übereinſtimmt, aber bei weitem mehr Bequemlichkeit und zugleich die Möglichkeit gewährt, ſehr ausgedehnte Fugen ungemein ſchnell zu löthen. Am Ende eines biegſamen Kautſchuk-Schlauches, der das Gas zuführt, befindet ſich ein Mundſtück aus Meſſing oder Kupfer, welches die Geſtalt eines Gießkannenkopfes hat und wie dieſer auf ſeiner 2 Zoll im Durchmeſſer haltenden Kreisfläche mit einer Menge kleiner Löcher verſehen iſt. Ein Hahn am Gasrohre geſtattet die Regulirung des Gaszufluſſes; wenn derſelbe ganz geöffnet iſt, erzeugt ſich eine ſehr voluminöſe Flamme. Dazu gehört ein zum Treten eingerichteter Blasbalg mit biegſamem Schlauche und meſſingenem Mundſtücke, in welchem letzteren die Oeffnung höchſtens eine Linie weit iſt. Der aus dieſem Mundſtück hervortretende Luftſtrom wird gleich dem eines Löthrohres in die Gasflamme geleitet, man lenkt dieſelbe auf das Arbeitsſtück und breitet ſie nöthigen Falls über einen großen Raum aus. Legt der Arbeiter den Gasſchlauch aus der Hand, ſo dreht er den Hahn deſſelben nicht ganz zu, ſondern nur ſo weit, daß noch äußerſt kleine Flämmchen am Mundſtücke fortbrennen; er erſpart hierdurch bei Wiederaufnahme der Lötharbeit das Anzünden des Gaſes, indem er nur nöthig hat, durch Oeffnen des Hahnes die Flamme gehörig zu vergrößern.

Die großen Vorzüge dieſer Methode vor dem bei uns gebräuchlichen Löthen im Kohlenfeuer liegen auf der Hand. Nicht allein, daß hierbei viel an Zeit und Geld erſpart wird, da ein großer Theil der theueren Kohlen unbenutzt verbrennt, ſondern die Arbeit iſt auch viel reinlicher und leichter, weshalb ſie in jedem beliebigen Arbeitsraume ausgeführt werden kann. Ferner kann man den Fortgang der Operation auf das Bequemſte und Vollkommenſte beobachten, alſo auch den Zeitpunkt, wo mit dem Erhitzen aufzuhören iſt, ganz genau erkennen. Aber dennoch hat dieſer Apparat die große Unvollkommenheit, daß hier wegen der beiden Schläuche zwei Hände beſchäftigt ſind, wodurch in manchen Fällen ein Gehülfe erforderlich wird; wenigſtens wird die Bequemlichkeit des Arbeiters, der zudem noch den Blasbalg treten muß, bedeutend beeinträchtigt.

Daher verdient die dritte Methode mehr Beifall. Hier vereinigen ſich beide Schläuche in einem eiſernen oder meſſingenen Mundrohre von einem halben Zoll

*) Pharm. Chem. Centralbl. 1853. S. 43.

Oeffnung. An dieſem Rohre wird das ausſtrömende Gemenge von Gas und Luft entzündet, während man erſteres in einer Hand hält und nach und nach über die Löthſtelle fortführt. Das mit Draht gebundene Arbeitsſtück wird auf einige todte Kohlen gelegt, welche ſich auf einem runden, etwas vertieften, ungefähr 2 Fuß im Durchmeſſer haltenden Tiſche von Schwarzblech befinden. Dieſer Tiſch wird von einem hölzernen Bocke in etwa 4 Fuß Höhe über dem Fußboden getragen und läßt ſich auf dieſem, wie der Sitz eines Schreibſtuhles, um ſeinen Mittelpunkt drehen.

Wegen der großen Vortheile, die das Löthen mit Leuchtgas darbietet, hat dieſe Methode auch bereits bei uns Eingang gefunden. So arbeitet man z. B. in der Bronzefabrik von Bernſtorff und Eichwede in Hannover mit ſolchen Apparaten, die in ihrer Einrichtung dem zuletzt beſchriebenen ähnlich ſind. Die Röhre, welche die Luft zuführt, befindet ſich innerhalb des Gasrohres, ſo daß die Luft alſo inmitten der Gasflamme ausgeblaſen wird. Das Luftrohr iſt verſchiebbar und geſtattet dem Arbeiter auf leichte Weiſe den Ausfluß des Gaſes zu reguliren. Zieht er nämlich das Luftrohr zurück, ſo vergrößert ſich die Ausſtrömungsöffnung des Gaſes und umgekehrt. In ſehr kurzer Zeit erlangt man die zum Schmelzen des Schlaglothes nöthige Hitze, bei kleineren Gegenſtänden in weniger als einer halben Minute. — Schon früher iſt das Leuchtgas auch von Michiels *) und Elsner **) zum Löthen empfohlen und von dieſen ſind gleichfalls für dieſen Zweck geeignete Apparate angegeben.

Früher ſchon wurde das Waſſerſtoffgas (das Knallgasgebläſe) von Richemont benutzt ***), um zwei Metallſtücke ohne Anwendung eines Lothes durch Schmelzung des Metalles an den zu vereinigenden Stellen zu verbinden. Es gelingt dies ſo gut, daß man die Vereinigungsſtellen durch das Auge nicht auffinden kann. Ein Löthen im gewöhnlichen Sinne findet hier eigentlich nicht ſtatt und deshalb iſt auch die von Richemont für dieſe Art der Vereinigung gewählte Benennung Löthung durch ſich ſelbſt (soudure autogène, autogenous soldering) nicht paſſend; beſſer heißt es wohl Vereinigung durch ſich ſelbſt (autogenous junction). Dieſe Art der Löthung iſt für die Technik von den weitgreifendſten Folgen geworden; dadurch wurde ein mächtiges Hinderniß aus dem Wege geräumt, welches dem Aufſchwung faſt der geſammten Induſtrie entgegenſtand. Die Fabrikation einer der Hauptgrundlagen der heutigen Induſtrie, die Schwefelſäure, bedurfte Bleikammern und bleierne Abdampfpfannen von rieſiger Größe; die Vitriol- und Alaunſiedereien, die Gold- und Silberſcheidungsanſtalten, die Stearinfabriken, ſo wie mancherlei andere Induſtriezweige forderten Siede- und Füllpfannen, Kryſtalliſirſtänder, Bottiche ꝛc. von Blei, d. h. Gefäße von allen Dimenſionen und Formen, die den chemiſchen Agentien, mit denen man hier arbeitete, Widerſtand leiſteten. Manchem wird die Löſung dieſer Frage ſehr einfach erſcheinen; aber das war ſie keineswegs. Das gewöhnliche Loth war hier nicht zu gebrauchen; Blei und die als Loth dienende Legirung dehnen ſich verſchieden aus, ein Umſtand, der ſich namentlich bei ſehr hohen und niederen Temperaturen ſehr

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CIII. S. 284.
**) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXVI. S. 288.
***) Dingler's polyt. Journ. Bd. LXXIII. S. 76, Bd. LXXVII. S. 33, Bd. LXXXIV. S. 354, Bd. LXXXVII. S. 304.

ſtörend bemerkbar machte. Dann wirkten auch gerade diejenigen chemiſchen Agentien, welche die Anwendung des Bleies forderten, zerſtörend auf das Loth ein; desgleichen auch die unter gewiſſen Umſtänden durch die gegenſeitige Berührung zweier verſchiedenartiger Metalle auftretenden elektriſchen Wirkungen. So ſahen z. B. Vauquelin und d'Arcet die Löthung der mit Blei ausgefütterten Gefäße öfter in wenigen Tagen zu Pulver zerfallen; daſſelbe zeigte ſich auch oft an Bleiröhren, die ſich in der Erde befanden. Das Gießen größerer Gefäße hat beim Blei beſondere Schwierigkeiten und ſo blieb nichts anderes übrig als das Verfertigen aus einem Stück, das natürlich nur bei beſchränkten Dimenſionen zur Ausführung kommen konnte.

Jetzt ſind alle dieſe Uebelſtände beſeitigt und dadurch hat das Blei eine große techniſche Wichtigkeit erlangt, da es keine Grenze mehr für die aus Blei zu arbeitenden Geräthe giebt. Auch die bedeutenden Unannehmlichkeiten, welche durch die große Geſchmeidigkeit des Bleies, obgleich eine der ſchätzbarſten Eigenſchaften deſſelben, gerade hier, wo es darauf ankam, daß die Geräthe einen großen Widerſtand leiſteten, eintraten, ſind dadurch beſeitigt. Man bekleidet jetzt Gefäße aus Eiſen, Zink und ſelbſt aus Holz in allen möglichen Formen im Inneren auf das Leichteſte mit Blei.

Merkwürdig iſt, daß die Alten wahrſcheinlich ſchon die Kunſt verſtanden haben, mit Blei ohne Zinn zu löthen. Girardin hat nämlich gefunden, daß ein von ihm unterſuchtes, wahrſcheinlich aus der erſten Hälfte des dritten Jahrhunderts ſtammendes Loth, durch welches eine den Verband eines Aſchenkruges bildende Bleiplatte feſtgehalten wurde, ſo wie auch der Boden des Kruges gelöthet war, nur aus Blei beſtand.

Auch durch den galvaniſchen Strom bewirkt man die Vereinigung zweier Metallſtücke durch daſſelbe Metall *). Die praktiſchen und theoretiſchen Bedenken, welche ſich der vielfach empfohlenen Löthung auf naſſem Wege entgegenſtellten, ſind durch die Verſuche von Elsner und Hackwitz als beſeitigt anzuſehen. Es findet hier ein ſo gleichartiges Zuſammenwachſen ſtatt, daß ſelbſt durch die Loupe nichts entdeckt werden kann. Dieſes Verfahren leiſtet oft da gute Dienſte, wo die gewöhnliche Löthung ſehr ſchwierig oder gar unthunlich iſt. W. B.

Löthrohr, chalumeau, blowpipe, nennt man ein kleines, einfaches Inſtrument, deſſen ſich die Metallarbeiter bei kleineren Löthungen ſeit Jahrhunderten mit Vortheil bedient haben, um die Hitze einer Flamme zu verſtärken. Es beſteht aus einem ungefähr 240^{mm} langen coniſchen Rohre von Meſſing, das an dem einen Ende eine Weite von 7^{mm} und an dem anderen von 1 bis 1$^1/_2{}^{mm}$ hat. Ungefähr 40^{mm} von dem letzteren entfernt iſt es in einem rechten Winkel, jedoch ohne ſcharfe Ecke gebogen. Das dickere Ende ſteckt der Arbeiter in den Mund und das dünnere Ende richtet er gegen die Flamme, die er, indem er durch Blaſen einen Luftſtrom hineintreibt, bequem auf die zu löthenden Metallſtücke leitet.

Im Laufe der Zeit aber hat dieſes einfache Inſtrument eine ungleich größere Wichtigkeit für die Wiſſenſchaft und das Leben erlangt. Es iſt jetzt dem Chemiker, Mineralogen und namentlich dem Berg- und Hüttenmann ein unentbehrliches

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CV. S. 237, Bd. CVIII. S. 350 und Bd. CXV. S. 130.

Hülfsmittel. Ein ſchwediſcher Bergrath, Anton von Schwab, war es zuerſt, der die Wichtigkeit deſſelben bei der Unterſuchung der Mineralien und Erze erkannte und ſich deſſelben ſeit 1738 dabei bediente. Veröffentlicht wurde aber durch ihn hierüber nichts. Die erſte Kenntniß von dem neuen Gebrauch des Löthrohres erhielt die gelehrte Welt erſt gegen Ende des vorigen Jahrhunderts durch Engeſtröm. Nicht er, ſondern Cronſtedt, ein ſchwediſcher Bergmeiſter, hatte ſich bei Aufſtellung ſeines chemiſchen Mineralſyſtems des Löthrohrs bedient, um die Mineralien zu unterſcheiden. Er hatte auch ſchon Gebrauch gemacht von den ſchmelzbaren Reagentien, durch deren Wirkungen er auf die chemiſche Zuſammenſetzung der Mineralien ſchloß. Der engliſchen Ueberſetzung des Cronſtedt'ſchen Mineralſyſtemes fügte Engelhardt ein eigenes Capitel über den Gebrauch des Löthrohres bei, das durch weitere Ueberſetzungen in andere Sprachen bald allgemeiner bekannt und in den Gebrauch genommen wurde, ſo wenig es damals auch noch zu leiſten vermochte. Um die Anwendung des Löthrohres zur Vollkommenheit zu bringen, dazu gehörte eine große Reihe von Verſuchen, die eben nur erſt im Laufe der Zeit konnten ausgeführt werden. Und dieſer Ruhm gebührt Schweden allein. Alle die, welche mit dazu beigetragen haben, dieſe Methode der qualitativen Unterſuchung auszubilden, gehören dieſem Lande an.

Zuerſt haben wir den Chemiker Bergmann zu nennen, der die Anwendung des Löthrohres bedeutend erweiterte und ſich ſeiner auf dem ganzen Gebiete der anorganiſchen Chemie bediente. Seine Erfahrungen hierüber veröffentlichte er in lateiniſcher Sprache *). Schon ihm war es gelungen auf dieſe Weiſe ſehr kleine Mengen von Mineral-Stoffen zu entdecken, deren Auffindung auf anderem Wege ſehr ſchwierig war. Gahn baute das Angefangene zwar weiter fort, aber alle ſeine Erfahrungen würden verloren gegangen ſein, wenn er nicht ſeinen Lieblingsſchüler in dieſer Kunſt unterrichtet hätte. Dies war Berzelius und ein Geeigneterer zur endlichen Vollendung wäre wohl kaum aufzufinden geweſen. Durch ihn **) wurde das Löthrohr Gemeingut für die Wiſſenſchaft und das Leben.

Aber auch ſelbſt nach Berzelius war die Probirkunſt mit dem Löthrohr noch einer weiteren Fortentwickelung fähig; bis dahin wurde das Löthrohr nur zu qualitativen Analyſen verwendet. Harkort, ein Bergbeamteter zu Freiberg, ſchlug bald einen neuen Weg ein, indem er verſuchte das Löthrohr auch zur quantitativen Beſtimmung des Metallgehaltes in Erzen, Mineralien und Hüttenproducten zu verwenden. Bereits 1827 veröffentlichte er ***) eine Silberprobe. An einer weiteren Ausbildung dieſes ganz neuen Zweiges der techniſchen Chemie wurde er durch ſeinen frühzeitigen Tod verhindert. Der von Harkort gegebene Anſtoß blieb nicht ohne Folgen. Plattner, damals noch Probirer an der Königl. ſächſ. Halsbrückner Schmelzhütte bei Freiberg, der bereits unter Harkort's eigener Anleitung mehrere Silberproben ausgeführt hatte, fühlte ſich veranlaßt deſſen Ideen zur weiteren Ausführung zu bringen. Mit welchem Glücke

*) Comment. de tubo ferruminatorio ejusdemque usu in explorandis corporibus, praesertim mineralibus. Vindobonae 1779.

**) Anwendung des Löthrohrs in der Chemie und Mineralogie. 1821. 4. Aufl. 1844.

***) Die Probirkunſt mit dem Löthrohre. 1. Heft: die Silberprobe. Freiberg, bei Graz und Gerlach 1827.

er dies vollführt hat, das zeigt ſeine Probirkunſt mit dem Löthrohre, von der bereits 1853 die dritte Auflage erſchienen iſt. Die erſte wurde 1835 veröffentlicht; neben der Silberprobe finden wir hier ſchon eine quantitative Beſtimmung von Gold, Kupfer, Blei und Zinn; die zweite Auflage (1846) brachte die für den Berg- und Hüttenmann ſehr wichtige Nickel- und Kobaltprobe und die dritte eine Wismuthprobe. Bei der quantitativen Beſtimmung des Eiſens muß man flüſſige Reagentien mit in Anwendung bringen. Dadurch hat Plattner geleiſtet, was man vor ihm kaum für möglich hielt, und ſich als einen Meiſter bewährt, deſſen Werk mit Recht neben das claſſiſche von Berzelius geſtellt werden kann und gleich bei ſeinem erſten Erſcheinen die Beachtung Aller fand.

In der Form, wie das Löthrohr von den Metallarbeitern verwendet wird, konnte es für die Wiſſenſchaft nicht benutzt werden. Die ausgeathmete Luft ſetzt nämlich in der Röhre Waſſer ab, das ſich hier anſammelt und zu Unbequemlichkeiten Veranlaſſung giebt, denen der Arbeiter dadurch entgeht, daß er bei ſeinen Verrichtungen überhaupt nur kurze Zeit, ſelten länger als eine Minute, bläſt. Bei chemiſchen Unterſuchungen aber muß das Blaſen oft längere Zeit fortgeſetzt werden und daher brachte ſchon Cronſtedt in der Mitte der Röhre, dem gebogenen Ende etwas näher, eine Kugel an, um die Feuchtigkeit aufzunehmen. Im Weſentlichen hat noch heute das Löthrohr die Form, welche es durch Gahn erhalten hat (ſ. beiſtehende Fig. I.). In der Regel wird es von Meſſing, Argentan oder Silber angefertigt. A iſt der Windkaſten, in welchem ſich von B aus die durch das Windrohr AB eingeblaſene Luft anſammelt, um durch das Seitenrohr a und die daran befindliche Spitze b auszuſtrömen; zugleich aber dient er auch zur Aufnahme der ſich anſammelnden Feuchtigkeit. Alle dieſe einzelnen Theile werden zuſammengeſteckt und durch Friction zuſammengehalten. Die Spitze b beſteht am zweckmäßigſten aus Platin, weil ſie am leichteſten von den Rußtheilchen, die beim Gebrauch oft die Oeffnung verſtopfen, gereinigt werden kann. Die innere Einrichtung wird durch die nebenſtehende Durchſchnittsfigur (ſ. Fig. II.) in einem vergrößerten Maßſtabe deutlich. Sehr wichtig iſt die Weite der Spitze. In der Regel hat man zwei Spitzen, von denen die eine 0,4^{mm} und die andere 0,5^{mm} weit gebohrt iſt; das Auswechſeln derſelben geſchieht mit großer Leichtigkeit.

I.

II.

Die Länge des ganzen Inſtrumentes beträgt gewöhnlich 20^{mm}; doch richtet ſie ſich nach den Augen des Arbeiters. Bei einem Kurzſichtigen iſt ſie daher geringer, bei einem Weitſichtigen größer. Beim Gebrauch umſchließt man das Windrohr, nachdem man die Backen aufgebläht hat, bei B mit den Lippen und bläſt nun die Luft ein. Die Mundhöhle vertritt hier den Gaſometer, die Backenmuskeln dienen zum Austreiben der Luft, der Gaumen tritt an die Stelle des Ventiles und die Füllung des Gasbehälters muß durch die Naſe ſtattfinden, da die Luft aus den Lungen wegen ihres bedeutenden Kohlenſäuregehaltes zur Unter-

haltung der Verbrennung nicht geeignet ist. Man bedient sich hier auch nach dem Vorgange von Plattner eines Mundstückes aus Horn, das ganz die Form des bei der Trompete hat und beim Blasen gegen die Lippen gepreßt wird. Hier ist das Blasen weniger anstrengend; bei gehöriger Uebung ist man im Stande 5 bis 10 Minuten anhaltend zu blasen. Die anhaltende Uebung, die erforderlich ist, um zu dieser Fertigkeit im Blasen zu gelangen, schreckt Viele ab. Diese Schwierigkeit ist um so größer, als man durch Rathschläge und Anweisungen hier wenig helfen kann; ein Jeder muß die Sache mehr aus sich selbst lernen. Dies ist wohl der Hauptgrund, daß, ungeachtet der Vorzüge, welche diese Art der Untersuchung vor der auf nassem Wege in Bezug auf Zeit der Technik gewährt, wir das Löthrohr noch nicht in den Händen aller derer finden, welche sich seiner mit großem Nutzen bedienen könnten.

Namentlich für die quantitative Analyse wird ein sehr anhaltendes Blasen erfordert. Plattner empfiehlt daher in der ersten Auflage seiner Probirkunst S. 346 einen Blaseapparat, der eine große Erleichterung gewährt. Ohne daß man nöthig hat sich selbst anzustrengen, wird hier durch das Ausströmen von atmosphärischer Luft aus einem Gasometer eine anhaltende Flamme erzielt. Gewährt eine solche Vorrichtung auch manche Vortheile, so geht ihr doch die leichte und zweckmäßige Direction der Flamme, die man mit dem einfachen Löthrohr ganz nach Belieben ausführen kann, ab und daher achtet Jeder, der, wenn auch mit einiger Mühe, die Lehrzeit glücklich überstanden hat, das einfache Instrument höher als den complicirteren Apparat. In der dritten Auflage seines Werkes hat Plattner die Beschreibung des Blaseapparates auch ganz fortgelassen, weil er sich nicht in allen Fällen mit demselben Vortheil anwenden läßt als das gewöhnliche Löthrohr.

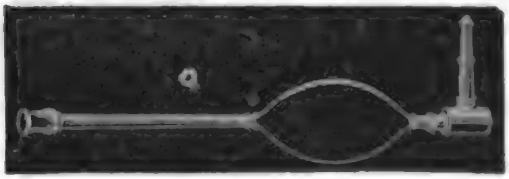
In neuerer Zeit hat man es wieder versucht Abhülfe zu schaffen. So ging mir durch Hoffmann und Eberhardt (Magazin für chemische, physikalische und pharmaceutische Geräthschaften, 42 Jägerstraße, Berlin) ein Löthrohr in einer neuen Construction zu, durch welche das beschwerliche Blasen mit dem Munde entbehrlich gemacht werden soll. Der Windkessel befindet sich hier an einem kleinen, schweren Stativ; vorn ist die Löthrohrspitze angebracht und ihr gegenüber ein Beutel aus Kautschuk. Seitwärts bringt man mittelst eines gekrümmten Rohres eine Kautschukellipse mit dem Windkessel in Verbindung. Drückt man diese mit der Hand, so füllt man den Beutel mit Luft und setzt man das Drücken fort, so bewirkt man dadurch eine ununterbrochene Luftausströmung aus der Löthrohrspitze, also eine stetige Flamme. Dieser kleine Apparat läßt sich sehr leicht mit einem Gasbehälter oder Gasentwickler verbinden und somit hat man Gelegenheit mit allen möglichen Gasen zu arbeiten.

Es läßt sich nicht läugnen, daß dieser kleine Apparat manche Vorzüge besitzt, aber ein großer Nachtheil ist der, daß die Löthrohrspitze zu wenig beweglich ist. Und aus diesem Grunde wird auch er nie im Stande sein das gewöhnliche Löthrohr in seiner Anwendung bedeutend zu beeinträchtigen, wenn gleich er sich manche Freunde unter denen, die Mühe und Anstrengung scheuen, erwerben und somit auch zur Verbreitung der Löthrohruntersuchungen in solchen Kreisen beitragen wird, die ihnen heute noch verschlossen sind.

Kurze Zeit vorher hat schon de Luca eine einfachere Construction des Löth-

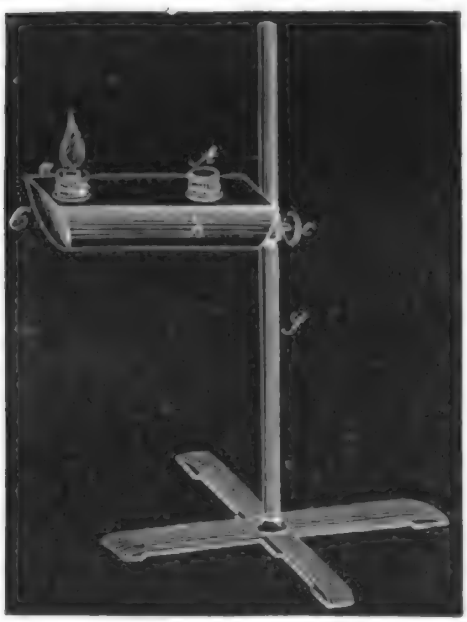
rohrs (ſ. beiſtehende Fig. I.) angegeben *), die dieſes Inſtrument Jedermann leicht zugänglich machen ſoll, da die Hervorbringung eines anhaltenden gleichförmigen Luftſtromes, das Haupterforderniß bei Löthrohruntersuchungen, weder eine beſondere Anſtrengung, noch ein längeres Erlernen erfordert. Wir haben hier das gewöhnliche Löthrohr vor uns, nur daß wir zwiſchen dem koniſchen Rohre und dem cylindriſchen Behälter eine Kautſchukkugel finden, in der ein Ventil angebracht iſt, um das Zurücktreten der eingeblaſenen Luft zu verhindern. Dieſe comprimirt durch das Einblaſen und die Elaſticität des Kautſchuks entweicht nun regelmäßig und ſtetig aus der Löthrohrſpitze, ohne daß man nöthig hat, wie bei dem gewöhnlichen Löthrohr, fortwährend zu blaſen. Mittelſt dieſes Kunſtgriffes ſoll man die Löthrohrflamme ohne Anſtrengung und Beſchwerde für das Athmen ſtundenlang unterhalten können.

I.



Bei den Löthrohrproben kann man ſich einer jeden Flamme bedienen, ſofern ſie nur nicht raucht und die gehörige Hitze ausgiebt. In der älteren Zeit verwendete man die Flamme eines gewöhnlichen Lichtes. Gahn erſetzte ſie zuerſt durch eine Lampe, in welcher Baumöl mit einem dicken Dochte brannte. Die heute gebräuchliche Löthrohrlampe rührt von Berzelius her; Harkort hat daran jedoch einige Verbeſſerungen angebracht. Ihre Einrichtung wird durch die nebenſtehende Abbildung deutlich (Fig. II.). Bei der Unterſuchung auf flüchtige Subſtanzen, die in kleinen Glaskolben und dünnen Glasröhren angeſtellt werden, ſo wie beim Schmelzen in kleinen Platinlöffeln, beim Glühen u. ſ. w. kann auch eine gewöhnliche Spirituslampe gebraucht werden.

II.



Durch das Einblaſen der verdichteten Luft in die Flamme wird ein vollſtändiges Verbrennen erzielt und dadurch die Wärmeentwickelung verſtärkt. Es wird hierdurch eine größere Hitze der Flamme hervorgebracht, als ſie ohnedem beſitzt. Da hier alſo die ausgeſchiedenen Kohletheilchen vollſtändiger verbrennen als unter gewöhnlichen Umſtänden, ſo leuchtet auch die durch das Löthrohr angeblaſene Flamme weniger; die Hitze concentrirt ſich hier in der Spitze der Flamme. In einer ſolchen Flamme treten die einzelnen, deutlich zu unterſcheidenden Theile, die eine gewöhnliche Flamme darbietet, weniger hervor. Der hellleuchtende Theil wird beträchtlich kleiner, eben ſo verkürzt ſich

*) L'Institut No. 1054.

auch der ſchwarze Kegel, während der brennende durch den vermehrten Luftzutritt von Innen und Außen bedeutend größer wird.

Eine regelrechte Flamme zu blaſen, iſt die Hauptaufgabe deſſen, der ſich mit den Löthrohruntersuchungen vertraut machen will. Man hat hier aber zwei Arten von Flammen zu unterſcheiden: die reducirende und die oxydirende. Die erſtere wird erzielt, wenn man die Spitze des Löthrohrs parallel mit dem etwas ſchief abgeſchnittenen Dochte hält, wobei dieſelbe jedoch die eine ſchmale Seite der Flamme nicht berühren darf. Hier iſt der Luftſtrom ſchwächer; er geht in einiger Entfernung über den Docht fort und treibt die Flamme vor ſich her. Eine vollſtändige Mengung der Flammengaſe mit der einſtrömenden Luft findet nicht ſtatt und daher verbrennen die ausgeſchiedenen Kohletheilchen erſt an der Peripherie des leuchtenden Flammenkegels. Bis ſie dahin gelangen, ſchweben ſie unverbrannt, aber glühend in den verbrennenden Gaſen und geben der Flamme eine gelbe Farbe, während die Oxydationsflamme, in welche mitten hinein ein ſtärkerer Luftſtrom getrieben wird, die blaue Flamme des verbrennenden Kohlenoxydgaſes beſitzt, weil hier in Folge des Angeführten eine vollſtändigere Verbrennung ſtatt hat. Die letztere Flamme erzielt man, wenn man die Löthrohrſpitze etwa bis zu einem Drittel der Dochtbreite in die Flamme eintaucht.

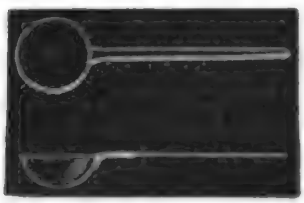
Bei der Reductionsflamme bringt man den zu unterſuchenden Körper in die Flamme ſelbſt, damit dieſe ihn umhüllt und vor der oxydirenden Einwirkung der Luft ſchützt. Eine Belegung mit Ruß muß man aber vermeiden, weil dadurch die Erhitzung beeinträchtigt wird und auch andere Nachtheile entſtehen. Bei der Oxydationsflamme bringt man die Subſtanz vor die Spitze der Flamme, weil hier die Hitze concentrirt iſt; je ſtärker die Erhitzung iſt, um ſo leichter wirkt die atmoſphäriſche Luft oxydirend auf den Körper ein.

Die Oxydationsflamme iſt viel leichter hervorzubringen als die Reductionsflamme. Will man ſehen, ob man eine regelrechte Flamme der erſten Art blaſen kann, ſo dient als ſicherſter Rathgeber die Molybdänſäure, indem dieſelbe mit Borax zuſammengeſchmolzen in einer unreinen Flamme ſofort ein braunes Glas giebt, während dies bei einer richtigen Flamme nach dem Erkalten farblos erſcheint. Zur Uebung für die Reductionsflamme können Manganoxyd und die Oxyde von Kupfer oder Nickel dienen. Alle drei geben mit Borax durch die Oxydationsflamme zuſammengeſchmolzen deutlich gefärbte Glasperlen (violettroth oder ſchwarz bei einem zu großen Zuſatz, grün in der Wärme und blau nach der Abkühlung, in der Wärme violett und nach der Abkühlung blaß rothbraun); in der Reductionsflamme wird erſteres zu Oxydul und die letzteren werden zu Metall reducirt. Je ſchneller man daher im Stande iſt die Farben verſchwinden zu laſſen, deſto geübter iſt man im Löthrohrblaſen.

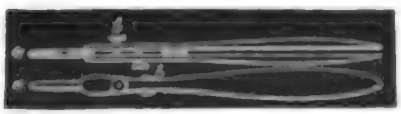
Zu einem vollſtändigen Löthrohrapparat gehören vielerlei kleinere Inſtrumente und Gegenſtände, die ſich jedoch in einen ſo kleinen Raum verpacken laſſen, daß man durch das Ganze auf Reiſen nicht ſehr beſchwert und der Mineraloge daher nicht verhindert wird, die für ihn wünſchenswerthen Unterſuchungen gleich an Ort und Stelle auszuführen. Zuerſt gehören hierher die Unterlagen oder ſonſtigen Mittel, deren man ſich bedient, um die zu unterſuchenden Körper der Löthrohrflamme auszuſetzen. Dieſe ſind: 1) Holzkohle. Am beſten iſt eine gute, dichte und trockne Fichtenkohle, die man in Stücke von 6 Zoll Länge und 2 Zoll Breite ſo zerſägt, daß die Jahresringe auf der Kante ſtehen. Die Kohle wendet man

hauptſächlich an, wo die Oxydation verhindert werden ſoll. 2) Platindraht. Er dient zur Herſtellung der Borax- und zur Befeſtigung der Phosphorſalzperlen, in die man Stäubchen der zu unterſuchenden Körper einſchmilzt, um die Wirkungen beider Flammen darauf zu prüfen. Der Docht muß ſtets ſorgfältig gereinigt und vor dem Gebrauch mit reinem Waſſer abgewaſchen werden, weil manche Reactionen durch die geringſten Verunreinigungen, ſo z. B. ſelbſt durch den Schweiß der Hände, beeinträchtigt werden. 3) Platinblech. Hierauf unterſucht man Subſtanzen, die auf Kohle eine Reduction erleiden. 4) Platinlöffel von der Größe und Form nebenſtehender Fig. I. Man ſchmilzt hierin gewiſſe Subſtanzen mit ſaurem ſchwefelſaurem Kali oder Salpeter zuſammen. 5) Eine Zange mit Platinſpitzen (ſ. Fig. II.) von 6 Zoll Länge. Man befeſtigt darin Stückchen derjenigen Subſtanzen, die man auf ihre Schmelzbarkeit oder auf die Färbung unterſuchen will, die ſie der Löthrohrflamme ertheilen. 6) Glasröhren, theils offen, theils an dem einen Ende zugeſchmolzen. Die erſteren dienen beſonders zum Röſten von ſchwefel-, ſelen-, arſen-, antimon- und tellurhaltigen Subſtanzen, welche, wenn man ſie nach beſtimmten Regeln erhitzt, entweder die Wände verſchiedenartig beſchlagen oder ſich durch einen beſtimmten Geruch auszeichnen. Die letzteren gebraucht man, um Subſtanzen, welche flüchtige Beſtandtheile enthalten, unter möglichſt geringem Luftzutritt zu erhitzen. Die flüchtigen Körper werden dadurch ausgetrieben und ſetzen ſich an die Wände an, aber nicht wie in den Glasröhren im oxydirten Zuſtande.

I.



II.



Zur Vervollſtändigung eines ſolchen Apparates dienen noch: ein Hammer, ein kleiner Amboß, ein Stahlmörſer, Feilen von verſchiedener Art, ein Meſſer, eine Scheere, eine Kneifzange, alſo im Allgemeinen Inſtrumente zur Zerkleinerung; ferner ein Magnet und eine Loupe.

Die Hauptreagentien ſind Soda, Borax und Phosphorſalz (phosphorſaures Natron-Ammoniak). Die erſtere muß frei von Waſſer und Schwefelſäure ſein. Sie dient hauptſächlich zur Beförderung der Reduction der Metalloxyde und Schwefelmetalle auf Kohle, zur Aufſchließung der Silicate und zur Feſtſtellung der Löslich- oder Unlöslichkeit eines Körpers beim Zuſammenſchmelzen mit derſelben. Auch der Borax wird zum größten Theil von ſeinem Kryſtallwaſſer befreit. Durch ihn erkennt man viele Körper an den Farben, die in den beiden Flammen auftreten oder verſchwinden; zugleich dient er aber auch, um die Löslich- oder Unlöslichkeit einer Subſtanz nachzuweiſen. Das Wirkende iſt hier die freie Borſäure, die ſich bei erhöhter Temperatur mit Oxyden verbindet, ſchwache Säuren austreibt und mit Hülfe der Oxydationsflamme Metalle, Schwefel- und Haloidverbindungen zur Oxydation geneigt macht. So entſtehen borſaure Oxyde, die mit dem borſauren Natron zuſammenſchmelzen und dem Glaſe verſchiedene Färbungen ertheilen. Eben ſo iſt ſie im Stande Baſen und Säuren aufzulöſen und es entſtehen mithin baſiſche und ſaure Doppelſalze. Wegen der Entweichung von Waſſer und Ammoniak aus dem Phosphorſalz kann man die Perlen deſſelben nicht gut auf dem Platindraht anfertigen; dies geſchieht auf Kohle. Sonſt iſt ſeine

Anwendung ganz so wie die des Borax, nur die Reactionen sind meistens verschieden. Auch hier wirkt vorzüglich die freie Phosphorsäure, welche ein starkes Auflösungsmittel für viele Stoffe abgiebt und mit den Basen mehr oder minder leicht schmelzende Salze bildet, die sich mit dem phosphorsauren Natron zu Doppelsalzen vereinigen und die verschiedene Färbung bedingen. Ferner dient das Phosphorsalz bei der Probe auf Fluor zur Abscheidung der Basen.

Andere Reagentien sind noch: neutrales oxalsaures Kali, Cyankalium (beides sind bessere Reductionsmittel als Soda), Salpeter (Oxydationsmittel), saures schwefelsaures Kali (zur Austreibung und Erkennung gewisser flüchtiger Substanzen, als Lithion, Borsäure, Salpetersäure, Fluor, Brom und Jod, und zur Zerlegung von titan-, tantal- und wolframsauren Salzen), eine Auflösung von salpetersaurem Kobaltoxydul, durch welche Thonerde blau, Magnesia rosenroth, Zinnoxyd, Zinkoxyd und Titansäure grün gefärbt werden, Zinn (Steinöl, um die Reduction einer in Borax oder Phosphorsalz gelösten Substanz zu befördern), Eisen (starke Claviersaiten, um die Phosphorsäure in den Salzen zu Phosphor zu reduciren, mit dem es Phosphoreisen bildet und dieses dient wieder bei der Probe auf Antimon im Schwefelbleie und zur Abscheidung des Schwefels), Silberblech, um Schwefel und Schwefelsäure aufzufinden.

Von mehr eingeschränktem Gebrauch sind noch folgende Reagentien: Lakmuspapier, antimonsaures Kali, um kleine Mengen von Kohlenstoff aufzufinden (es veranlaßt durch Abgabe des Sauerstoffs die Bildung von kohlensaurem Kali, das durch Aufbrausen bei Zusatz von Säure zu der Auflösung in Wasser erkannt wird), Flußspath (er dient in Gemeinschaft von schwefelsaurem Kali, um Lithion und Borsäure zu entdecken), Kupferoxyd (zum Auffinden von Salzsäure und Chlor), oxalsaures Nickeloxydul (zur Nachweisung des Kalis bei Gegenwart von Natron und Lithion).

Alle diese verschiedenen Reagentien bewahrt man entweder in kleinen, gut verstöpselten Gläsern oder in einem kleinen Kasten auf, der mit verschiedenen kleinen Abtheilungen versehen ist.

Eben so wie bei der qualitativen Untersuchung auf nassem Wege muß man auch bei Löthrohruntersuchungen einen bestimmten Gang, der bereits von Berzelius angegeben ist, inne halten, wenn man bestimmt über die Gegenwart oder Abwesenheit gewisser Stoffe ins Klare kommen will. Man führt hierbei die einzelnen Operationen in folgender Ordnung aus.

1) Prüfung in einer an einem Ende zugeschmolzenen Glasröhre. Beim Erhitzen derselben werden verflüchtigt: Wasser, Quecksilber, Schwefel, Schwefelarsen, Selen, Tellur. Ferner können hier erkannt werden Ammoniak und Sauerstoff. Dann muß man beobachten, ob der erhitzte Körper in irgend einer Weise Veränderungen erleidet, ob er z. B. seine Farbe, seine Gestalt oder seinen Aggregatzustand verändert, eine Feuererscheinung zeigt, phosphorescirt oder decrepitirt.

2) Prüfung in der offenen Glasröhre. Schwefel oxydirt sich hier zu schwefliger Säure (leicht am Geruch zu erkennen), Arsenik zu arseniger, Antimon zu Antimonoxyd und Tellur zu telluriger Säure. Die beiden ersteren

Sublimate können beide durch Hitze von den Stellen fortgetrieben werden, wo ſie ſich angelegt haben, aber nicht die tellurige Säure, die nur ſchwitzt.

3) Prüfung auf Kohle. Auch hier werden flüchtige Producte gebildet, die ſich auf der Kohle abſetzen. Durch die Farben dieſer Beſchläge und durch andere Eigenſchaften erkennt man verſchiedene beſtimmte Körper. Selen: brauner Rauch, Beſchlag in geringer Entfernung ſtahlgrau, ſchwach metalliſch glänzend, in größerer dunkelgrau ins Violette fallend, matt; ſtarker Geruch nach verfaultem Rettig. Tellur: Beſchlag weiß mit rother oder dunkelgelber Kante, verſchwindet in der Reductionsflamme mit einem grünen, bei Gegenwart von Selen mit einem blaugrünen Scheine. Arſen: Beſchlag weiß, in dünnen Lagen graulich, ſetzt ſich erſt in großer Entfernung ab; bei ſeiner Verflüchtigung bemerkt man einen ſtarken Geruch nach Knoblauch. Antimon: Beſchlag weiß und weniger flüchtig als der vom Arſenik. Schmilzt man metalliſches Antimon auf der Kohle und bringt man es zum Rothglühen, ſo ſtößt es, indem es Sauerſtoff aus der Luft abſorbirt, einen dicken weißen Rauch aus und bleibt wegen der bedeutenden Wärme, welche durch die Heftigkeit dieſer Reaction entwickelt wird, längere Zeit rothglühend, bis ſich die Oberfläche der Kugel ganz mit Oxydkryſtallen bedeckt hat. Wismuth: Beſchlag in der Hitze dunkel orangegelb, nach dem Erkalten citronengelb (Wismuthoxyd), in dünnen Lagen bläulich weiß (kohlenſaures Wismuthoxyd). Blei: Beſchlag in Wärme dunkelcitronengelb, nach dem Erkalten ſchwefelgelb (Bleioxyd), in dünnen Lagen bläulich weiß (kohlenſaures Bleioxyd); wird in beiden Flammen reducirt und verläßt dabei in der Reductionsflamme ſeine Stelle mit einem azurblauen Scheine. Kadmium: brennt in der Oxydationsflamme mit dunkelgelber Flamme und braunem Rauch; Beſchlag nach völliger Abkühlung rothbraun, in dünnen Lagen orangegelb, von der äußerſten Grenze des Beſchlages an erſcheint die Kohle pfauenſchweifartig bunt angelaufen. Zink brennt in der Oxydationsflamme mit einer ſtark leuchtenden grünlichweißen Flamme und einem dicken weißen Rauch; Beſchlag in der Hitze gelb, nach dem Erkalten weiß. Zinn bedeckt ſich im Oxydationsfeuer mit Oxyd, im Reductionsfeuer ſetzt ſich ein in der Wärme ſchwach gelber, nach dem Abkühlen weißer Beſchlag ganz in der Nähe der Probe ab. Molybdän oxydirt ſich in der äußeren Flamme und ſetzt dicht an der Probe einen in der Hitze gelblichen, nach dem Abkühlen weißen Beſchlag (Molybdänſäure) ab; beim Verflüchtigen deſſelben bleiben die mit der Kohle in Berührung geſtandenen Theilchen als dunkel kupferrothes Molybdänoxyd zurück. Silber beſchlägt die Kohle ganz ſchwach mit einem dunkelrothen Oxyd, ſelbſt wenn es mit Blei und Antimon zuſammen vorkommt, nachdem dieſe verflüchtigt ſind.

4) Prüfung in der Platinzange. Man prüft hier einerſeits die verſchiedenen Körper auf ihre Schmelzbarkeit; andererſeits dient die Färbung, die ſie der Flamme ertheilen, wiederum als Kennzeichen für gewiſſe Körper. Natron färbt die Flamme gelb. Kali violett; die letztere Reaction wird aber durch Natron und Lithion verdeckt. Eine rothe Flamme geben: Lithion, Strontion und Kalk; Baryt hebt aber die Reaction der beiden letzteren auf; eine grüne: Baryt, Molybdänſäure, Kupferoxyd, tellurige Säure, Phosphorſäure und Borſäure; eine blaue: Arſen, Antimon, Blei, Selen, Chlor und Brom-Kupfer.

5) Prüfung in der Borarperle. Oft muß hier eine ſorgfältige Röſtung vorhergehen, um die etwa vorhandenen Metalle in Oxyde zu verwandeln.

6) Prüfung in der Phosphorsalzperle. Hier wie bei dem Vorgehenden müssen die Farben, welche die Perlen im heißen Zustande, während der Abkühlung und nach dem Erkalten und zwar in beiden Flammen zeigen, auf das Genaueste beobachtet werden. Wir stellen für beide das Verhalten der wichtigeren Metalloxyde, wie es von Plattner in seinem Werke angegeben wird, zusammen.

Metalloxyd	Verhalten zu Borax	auf Platindraht	Verhalten zu Phosphorsalz	auf Platindraht
	Oxydationsflamme	Reductionsflamme	Oxydationsflamme	Reductionsflamme.
Manganoxyd	färbt sehr intensiv; warm violett, kalt roth mit einem Stich ins Violette; bei starkem Zusatz schwarz	farblos	violett, bei starkem Zusatz ein dunkles, undurchsichtiges Glas	farblos.
Eisenoxyd	warm gelb oder roth, kalt farblos oder gelb	bouteillengrün	nach dem Abkühlen farblos oder bei größerem Zusatz bräunlichroth	bei geringem Zusatz wird das Glas nicht verändert; bei einem größeren erscheint es in der Wärme roth, dann gelb, grünlich und nach dem Erkalten röthlich.
Kobaltoxydul	smalteblau oder tief dunkelblau, fast schwarz	ebenso	nicht so intensiv gefärbt wie beim Borax	ebenso.
Nickeloxydul	violett, nach der Abkühlung rothbraun	grau und trübe durch metallisches Nickel	röthlich, nach der Abkühlung gelb	keine Veränderung.
Zinkoxyd	farblos, bei starkem Zusatz emailartig	anfangs unklar, nach längerem Blasen aber wieder klar	wie beim Borax	ebenso.
Kadmiumoxyd	klar und gelbliches Glas; bei starkem Gehalt emailartig		wie beim Borax	
Bleioxyd	dem vorigen ähnlich; bei starkem Zusatz nach dem Abkühlen emailgelb	auf der Kohle wird das Blei reducirt		
Zinnoxyd	klares farbloses Glas; bei größerem Zusatz unklar mit undeutlichen Krystallisationen		klar und farblos	keine Veränderung.
Wismuthoxyd	klares Glas, in der Hitze gelb, dann farblos	der Wismuth wird reducirt und die Perle zuletzt wieder klar	farblos in der Kälte oder bei großem Zusatz emailartig	

Metalloxyd	Verhalten zu Borax Oxydationsflamme	auf Platindraht Reductionsflamme	Verhalten zu Phosphorsalz Oxydationsflamme	auf Platindraht Reductionsflamme.
Uranoxyd	wie Eisenoxyd, nur etwas heller	eben so	klares gelbes Glas, beim Abkühlen gelbgrün	schön grün, nach dem Abkühlen noch schöner.
Kupferoxyd	färbt ziemlich intensiv; in der Wärme grün, kalt blau	farblos, im Augenblick des Gestehens roth und undurchsichtig	nicht so starke Färbung, wie beim Borax	dunkelgrün, beim Abkühlen undurchsichtig braunroth.
Silberoxyd	wird theils aufgelöst, theils reducirt; daher milchweiß oder glasartig		gelbliches Glas	
Oxyde von Platin und den daſſelbe begleitenden Metallen	werden, ohne ſich aufzulöſen, reducirt	eben so	wie zu Borax	eben so.
Goldoxyd	desgleichen	eben so	wie zu Borax	eben so.
Titanſäure	klares Glas, in der Wärme farblos oder gelb, nach dem Erkalten farblos	gelb bis braun	klares Glas wie beim Borax	in der Wärme gelb, nach dem Erkalten violett, bei Gegenwart von Eiſen braungelb oder roth. Zinn ſchafft die Farbe des Eiſens fort.
Antimonoxyd	klares Glas, in der Wärme gelblich, nach der Abkühlung farblos	graulich und trübe von reducirtem Antimon, das ſich aber verflüchtigt	klares, in der Wärme ſchwach gelbliches Glas	
Wolframſäure	klares, in der Hitze gelbliches Glas	wird nicht verändert; bei ſtarkem Zuſatz in der Wärme dunkelgelb, beim Erkalten braungelb	klares farbloſes Glas	rein blau, bei Eiſengehalt blauroth, welche Farbe ſich jedoch bei Zinnzuſatz wieder in Blau umwandelt.
Molybdänſäure	klares farbloſes Glas, in der Wärme gelb	braun oder ganz undurchſichtig	klares, beinahe farbloſes Glas, in der Wärme gelbgrün	ganz dunkel ſchmutzig grün, nach der Abkühlung aber ſehr ſchön grün.
Vanadinſäure	klares farbloſes oder gelbes Glas	heiß bräunlich, abgekühlt ſchön chromgrün	wie zu Borax	wie zu Borax.

Metalloxyd	Verhalten zu Borax Oxydationsflamme	auf Platindraht Reductionsflamme	Verhalten zu Phosphorsalz Oxydationsflamme	auf Platindraht Reductionsflamme.
Chromoxyd	färbt intensiv; warm gelb, kalt gelbgrün oder warm dunkelroth, kalt schön grün, jedoch etwas gelblich	warm und kalt schön grün	klares Glas, warm röthlich, kalt schön grün	dunklere Farben wie in der Oxydationsflamme.

7) Prüfung mit Soda. Der zu untersuchende Körper wird mit Soda gemengt und das angefeuchtete Gemisch auf Kohle gestrichen. Bis die Feuchtigkeit verdunstet ist, erhitzt man schwach, dann aber sehr stark. Man beobachtet hier 1. ob ein Aufbrausen stattfindet (Kieselsäure, Titansäure, Wolframsäure, Molybdänsäure), oder 2. eine Reduction (bei den Oxyden der edlen Metalle und den Oxyden von Molybdän, Wolfram, Antimon, Arsen, Tellur, Kupfer, Quecksilber, Wismuth, Zinn, Blei, Zink, Kadmium, Nickel, Kobalt und Eisen). Zum Theil verflüchtigen sich die Metalle hierbei und geben dann die schon angegebenen Beschläge.

Außer diesen Versuchen muß man noch für einzelne Stoffe besondere anstellen. Wir verweisen jedoch dieserhalb auf die besonderen Anweisungen, die wir für die Löthrohruntersuchungen besitzen. Außer den beiden, schon oben besprochenen classischen Werken von Berzelius und Plattner führen wir noch an: Scheerer, Löthrohrbuch, Braunschweig bei Vieweg 1851; Krüger, Leitfaden zu qualitativen Untersuchungen mit dem Löthrohr, Berlin bei Nitze 1851. Eben so ist auch in den Lehrbüchern für die Analyse im Allgemeinen zumeist auf die Löthrohruntersuchungen gebührend Rücksicht genommen, so z. B. in Wackenroder's ausführlicher Charakteristik der unorganischen Basen und Säuren, Jena 1843; Winkelblech's Elementen der analytischen Chemie, Marburg und Leipzig 1838; Fresenius, Anleitung zur qualitativen chemischen Analyse und H. Rose's Handbuch der analytischen Chemie. W. B.

Log, s. Meer.

Loupe, s. Mikroskop.

Luft, atmosphärische, s. Atmosphäre.

Luftball, Luftballon, Aërostat, aërostatische Maschine, Montgolfière, Charlière. Ein Aërostat ist eine Maschine, die ohne Unterstützung oder Aufhängung in der atmosphärischen Luft im Gleichgewichte zu sein vermag, sich darin erheben und bewegen kann. Dabei trägt sie entweder blos ihr eigenes Gewicht oder noch andere angehängte Lasten. Da der Aërostat in der Regel, entweder durchaus oder seinem wesentlichsten Theile nach, eine kugelförmige Gestalt hat, so heißt er gewöhnlich Luftball oder Luftballon. Der Aërostat unterscheidet sich von der Flugmaschine darin, daß die letztere sich in der Luft erhebt und erhält — oder vielmehr sich erheben und erhalten soll — durch Anwendung einer bestimmten, der Maschine beigegebenen Kraftäußerung, während der Aërostat sein Verhalten nur einem gewissen Volums- und Gewichtsverhältniß verdankt.

Das dem Menschen unauslöschlich inwohnende Bestreben, sich zum Herrn der Naturkräfte zu machen, zu dem er bestimmt ist, mußte früh schon den Gedanken entstehen lassen, die Luft in ähnlicher Weise zu durchschiffen, wie es mit der Oberfläche des Meeres so leicht gelungen war. Zwei Vorbilder waren gegeben, der fliegende Vogel und die schwebende Wolke; es handelte sich darum, das was von Natur diesen beigelegt war, die Fähigkeit durch die Luft sich zu bewegen, für den Menschen durch Nachdenken und Kunst zu ersetzen. Obwohl nun keinerlei Unmöglichkeiten dem Bestreben einer willkürlichen Bewegung durch den Luftraum von vornherein entgegenstehen, so sind doch die bis jetzt erreichten Resultate für die praktische Anwendung so gering, daß vielleicht noch ein großer Zeitraum verschwinden wird, ehe diese Frage ihre Lösung erreicht. Die alte Sage von Dädalus und Ikarus beweist, wie alt jenes Nachdenken zur Lösung dieser Frage ist, die so sehr den menschlichen Geist zu beschäftigen weiß, daß kein Mißlingen ihn davon abbringen wird. Es lag nahe, wie diese Sage angiebt, durch Nachahmung der Vögel sich in die Luft erheben zu wollen, aber hier hat die Einrichtung des menschlichen Körpers und das Maß seiner physischen Kraft ein bisher unüberwundenes Hinderniß entgegengestellt. Die Vögel erheben sich, indem sie mit ihren Flügeln die Luft schlagen, so daß der Luftwiderstand gegen die bewegten Flügel größer ist als das Gewicht des Vogels; der Luftwiderstand ist aber abhängig von der Größe der Flügelfläche und von der Schnelligkeit des Flügelschlages; daher müssen Vögel mit verhältnißmäßig kleinen Flügeln dieselben schnell bewegen, während ein langsamer Flügelschlag große, ausgebreitete Flügel voraussetzt, immer aber muß der Vogel bei jedem Schlage einen Druck ausüben, der größer als sein Gewicht ist, wozu nun noch kommt, daß er diesen Druck bei einer in der Regel nicht langsamen Flügelbewegung ausübt, und daß er diese Anstrengung längere Zeit hindurch zu ertragen vermag *). In diesen drei Voraussetzungen steht der Mensch dem Vogel entschieden nach, denn er vermag bei mäßiger Bewegung nur einen Druck auszuüben, der dem vierten oder fünften Theile seines Körpergewichts gleichkommt, und besitzt dabei keine Organe, die es möglich machen, den Druck unmittelbar gegen die Luft auszuüben. Sollten solche Organe — nämlich Flügel — ihm künstlich ersetzt werden, so würde dadurch das zu hebende Gewicht nur vermehrt und das Mißverhältniß der Kraft noch größer werden. Dagegen besitzen die Vögel außer der zum Fliegen günstigeren Körpergestalt und den dem Zwecke vollkommen entsprechenden natürlichen Flugorganen so starke Brustmuskeln, daß das Mißverhältniß der relativen Körperkraft der Menschen zu der der Vögel bedeutend genug erscheint. Diesen Mangel aber durch eine Kraftmaschine zu ersetzen wird so lange noch unthunlich bleiben, als diese Kraftmaschinen immer noch ein sehr großes absolutes Gewicht haben.

War es nicht möglich, die fliegenden Geschöpfe nachzuahmen, so fragte es sich, ob man nicht die Wolken und Dünste, die sich ja auch in der Atmosphäre erheben und bewegen, würde nachahmen können. Diesen Gedanken treffen wir schon in der von Gellius angeführten Sage **). Doch es mußte erst die Erkenntniß von dem Gewichte der Luft bestimmt ausgebildet sein, ehe man zu dem

*) S. das Nähere im Art. Fliegen. Bd. III. S. 276.
**) Art. Flugmaschine. Bd. III. S. 286.

Schluß kommen konnte, daß ein Körper, der leichter als ein gleich großes Luftvolumen iſt, eben ſo in der Atmoſphäre aufſteigen müſſe, wie untergetauchte Körper, die leichter als Waſſer ſind, von ſelbſt wieder in demſelben aufſteigen. Dieſe Erkenntniß brachte etwa die Mitte des ſiebzehnten Jahrhunderts und alſobald tauchten auch beſtimmtere Vorſchläge zur Bildung eines Aëroſtaten auf. So macht Franz Lana in einer Schrift vom Jahre 1670 den Vorſchlag, ein Luftſchiff durch kupferne luftleere Kugeln zu heben, und P. Galien träumt 1755 von einer Maſchine aus Leinwand mit Wachs und Theer beſtrichen und ſo groß als die Stadt Avignon, welche mit leichterer Luft aus der Region des Hagels gefüllt, ſich in die Höhe heben müßte.

Da entdeckte Cavendiſh 1766 die große Leichtigkeit des Waſſerſtoffs, und Black in Edinburg äußerte den Gedanken, daß leichte Blaſen mit Waſſerſtoff gefüllt in der Luft aufſteigen müßten; Cavallo, der den Gedanken ebenfalls gehabt, ſtellte im Jahre 1782 Verſuche an, doch war das zu den Kugeln angewandte Papier für das feine Gas durchdringlich, und die Schweinsblaſe war zu ſchwer. Es gelang nur Seifenblaſen, mit Waſſerſtoff gefüllt, zum Steigen zu bringen. Dieſen Verſuch machte auch Lichtenberg in Göttingen. Bevor es aber gelang einen paſſenden Stoff zu den Gaskugeln zu finden, kamen die Brüder Stephan und Joſeph Montgolfièr, Papierfabrikanten zu Annonay, die ebenfalls vergeblich den Waſſerſtoff in Papierſäcken hatten einſchließen wollen, auf ein anderes Mittel zur Herſtellung eines Aëroſtaten. Sie kamen aus der Betrachtung der in der Luft ſchwebenden Wolken auf den Gedanken, eine durch Kunſt erzeugte Wolke in eine Hülle einzuſchließen, wobei ſich noch der Gedanke einſchlich, daß die Leichtigkeit dieſer Wolke durch Elektricität würde befördert werden. Es gelang dem älteren Montgolfièr ein 40 Kubikfuß enthaltendes Parallelepipedum von Taffent, in dem es mit Rauch von brennendem Papier angefüllt wurde, bis zur Decke des Zimmers ſteigen zu laſſen. Der Verſuch gelang auch mittelſt einer Maſchine, welche 650 Kubikfuß hielt. Hierauf conſtruirten ſie nun eine Maſchine von Leinwand, die 35 Fuß im Durchmeſſer hatte, 450 Pfund ſchwer war und überdies noch eine Laſt von 400 Pfund trug, und ließen dieſelbe am 5. Juni 1783 zu Annonay in Gegenwart der Stände von Vivarrais aufſteigen. Sie erhob ſich bis zu einer Höhe von 1000 Fuß und fiel 12000 Fuß vom Orte des Aufſteigens wieder herab. Der Grund, aus welchem dieſe Maſchinen ſtiegen, war offenbar die durch die Wärme im Innern des Ballons ausgedehnte Luft. Iſt vor dem Füllen der Ballon zuſammengedrückt, ſo enthält er nur eine ſehr geringe Quantität Luft, dieſe dehnt ſich durch die Erhitzung aus, treibt den Ballon auf und nimmt daher nun in dieſem einen bei weitem größeren Raum ein als vorher, ohne durch die Erwärmung an Gewicht zugenommen zu haben. Offenbar wiegt jetzt die im Ballon enthaltene Luft bei weitem weniger als ein gleich großes Volumen atmoſphäriſcher Luft, welches durch ſie aus der Stelle getrieben worden, und iſt dieſer Unterſchied an Gewicht größer als das Geſammtgewicht des Materials, aus dem der Ballon gefertigt iſt, und die ihm noch angehängte Laſt, ſo wird ſich der Ballon in die Höhe heben müſſen. Dieſe Einſicht hatten indeß die Gebrüder Montgolfièr in ihre Erfindung nicht, ſie glaubten vielmehr durch das Verbrennen des Strohes und des Papieres eine eigene Gasart erzeugt zu haben, welche leichter als atmoſphäriſche Luft ſei, und einige Schriftſteller, die auf dieſe Anſicht eingingen, ſprachen daher von einem Montgolfièr'ſchen Gaſe.

Alle mit erwärmter und daher verdünnter Luft gefüllte Luftballons werden nach ihren Erfindern Montgolfièren genannt.

Noch in demſelben Jahre gelang es auch den erſten mit Waſſerſtoffgas gefüllten Ballon zum Steigen zu bringen. Die Mechaniker Gebrüder Robert zu Paris verfertigten unter Anleitung des Profeſſors Charles einen Ballon von Taffent, welcher 12 Fuß 2 Zoll im Durchmeſſer hatte und (der beſſeren Dichtigkeit wegen, um das Gas nicht entweichen zu laſſen) mit Firniß von aufgelöſtem Federharze überzogen wurde. Der Ball wurde mit Waſſerſtoffgas aus Eiſenfeile und verdünnter Schwefelſäure gefüllt, wog 25 Pfd. und erhob ſich (den 27. Auguſt 1783 auf dem Marsfelde) in 2 Minuten 488 Toiſen hoch und verſchwand dann in den Wolken. Man fand ihn 5 Lieues von Paris bei dem Dorfe Geneſſe wieder. Er hatte einen Riß erhalten. Wahrſcheinlich hatte er ſich in ſo hohe Luftregionen erhoben, daß die umgebende Luft dem ſich im Innern ausdehnenden Gaſe nicht mehr den hinreichenden Widerſtand geleiſtet hatte, ſo daß der Ballon ganz aus derſelben Urſache zerplatzte, aus der eine Blaſe unterhalb der Glocke einer Luftpumpe erſt immer weiter ſich ausdehnt und endlich zerſpringt.

Die mit Waſſerſtoffgas gefüllten Luftballons werden nach ihrem erſten Erbauer Charlièren genannt.

Auch Montgolfièr ließ noch im September 1783 den von ihm erfundenen Luftballon in Paris und in Verſailles ſehen. Ein Sphäroid von Leinwand, 57 Fuß hoch, 41 Fuß breit und von 37500 Kubikfuß Inhalt, erhob ſich nach Verbrennung von 80 Pfund Stroh und 5 Pfund Wolle bis zur Höhe von 240 Toiſen. An dem Ballon befand ſich ein Käfig, in welchem ein Hammel, eine Ente und ein Hahn ſaßen, und mit dieſem Käfig wog der Ballon 900 Pfund. Er ſchwebte 8 Minuten lang in der Luft und fiel dann 1700 Toiſen vom Orte des Aufſteigens ſo ſanft herab, daß die Thiere ganz unbeſchädigt waren.

Die erſten, die es wagten mit einem Luftballon aufzuſteigen, waren Pilatre de Rozier und der Marquis d'Arlandes. Jener verſuchte erſt mittelſt eines am Seile befeſtigten Ballons, wie ſich durch abwechſelnde Vermehrung und Verminderung des Feuers unterhalb einer Montgolfière, dieſe nach Belieben zum Steigen oder Sinken bringen ließ. Der Luftballon beſtand alſo in einem mit verdünnter warmer Luft erfüllten Ball, der unten offen war und unterhalb deſſen Oeffnung eine Gluthpfanne hing, in welcher ſich das Feuer nach Belieben verſtärken oder ſchwächen ließ. Die genannten Männer bedienten ſich einer Maſchine von 60000 Kubikfuß Inhalt, welche eine Laſt von 1600 bis 1700 Pfund trug, und erhoben ſich in derſelben am 21. November im Schloſſe la Muette, wurden vom Winde über einen Theil von Paris und über die Seine getrieben und ſanken ohne Beſchädigung zu erleiden, nach 25 Minuten 5000 Toiſen vom Orte des Aufſteigens wieder herab.

Charles und der eine Robert machten bald darauf den 1. December 1783 die erſte Luftfahrt in einem mit Waſſerſtoffgas gefüllten Ballon. Dieſer Ballon hatte 26 Fuß im Durchmeſſer und war von Taffent. Er flog mit ſeiner Laſt in den Tuilerien auf und ſchwebte in einer Höhe von 250 bis 300 Toiſen ungefähr 2 Stunden lang fort, bis er in der Ebene bei Nesle, 9 Stunden von Paris niederſank. Hier ſtieg Robert aus und der auf dieſe Weiſe um 130 Pfd.

erleichterte Ballon erhob ſich nun mit Charles aufs Neue und zwar bis zu einer Höhe von 1500 Toiſen. Nach 35 Minuten ſank er jedoch bei Tour du Lay herab, ohne daß Charles eine Beſchädigung erlitt. Es wurden nun durch dieſe erſten glücklichen Verſuche ermuthigt von vielen Perſonen Luftfahrten theils in Montgolfièren, theils in Charlièren gemacht. Das größte Aufſehen erregte aber die Reiſe, welche Blanchard, ein Franzoſe, und Jefferies, ein Amerikaner, über den Canal machten. Sie bedienten ſich eines ſchon bei 5 Luftfahrten erprobten Ballons mit Waſſerſtoffgas und bewerkſtelligten ſo die Reiſe über den Canal von Dover nach Calais am 7. Januar 1785. Das Gas entwich indeß zum Theil aus dem Ballon, wodurch derſelbe ſank und die Reiſenden in die Gefahr kamen ins Meer zu fallen. Um den Ball zu erleichtern und dadurch wieder zum Steigen zu bringen, mußten ſie nicht allein allen Ballaſt, den ſie mitgenommen, ſondern auch alle ihre Sachen und ſogar einen Theil ihrer Kleider wegwerfen. Auf dieſe Weiſe gelang es ihnen wohlbehalten im Walde von Guiennes anzukommen. Der König von Frankreich beſchenkte Blanchard mit 12000 Franken und einer jährlichen Penſion von 1200 Franken.

Sehr unglücklich lief dagegen ein anderer Verſuch über den Canal mittelſt einer Montgolfière zu ſetzen ab, welchen Pilatre de Rozier und Romain anſtellten. Sie ſtiegen am 15. Juni 1785 zwiſchen Calais und Boulogne auf. Nachdem ſie ſchon eine Zeitlang über dem Meere geſchwebt, wurden ſie vom Winde nach dem Lande zurückgetrieben. Da, in einer Höhe von 1200 Fuß, entzündete ſich die Maſchine und die beiden Männer ſtürzten herab, wodurch ſie ſo zerſchmettert wurden, daß man kaum die menſchliche Geſtalt an ihnen wiedererkennen konnte. Dieſes Unglück iſt der Grund, warum ſpätere Luftfahrer ſich ſelten der Montgolfièren bedient haben, obſchon ſie, abgeſehen von der Gefahr des Verbrennens, Vorzüge vor den Charlièren beſitzen, von denen ſogleich näher die Rede ſein wird.

Intereſſant iſt die Luftreiſe, welche Crosbie am 19. Juni in Dublin anſtellte, um über den Canal nach Holyhead in England zu fahren. Die Gondel war mit einem zweckmäßigen Rande verſehen, um im unglücklichen Falle als Kahn zu dienen. Er nahm 300 Pfund Ballaſt mit, wovon er aber 50 Pfund beim Aufſteigen wegwarf. Anfangs trieb ihn ein gerader Weſtwind nach England, bald aber wurde der Wind NO., und ſo befand er ſich 40 engl. Meilen von der irländiſchen Küſte im Anblick beider Länder, ein Schauſpiel, welches er als alle Vorſtellung übertreffend ſchildert. Die Kälte war ſo ſtark in der großen Höhe, daß ſeine Dinte gefror und das Queckſilber des Thermometers bis in die Kugel ſank. Crosbie ſelbſt befand ſich unwohl und fühlte einen heftigen Druck gegen das Paukenfell. In der größten Höhe glaubte er ſtill zu ſtehen, ließ aber etwas Gas entweichen und ſank herab, kam aber dabei in einen nördlichen Luftſtrom, ſank bald darauf durch eine Wolke, worin er Blitz und Donner wahrnahm, und kam nahe über das Waſſer, gegen welches der Wind ihn ſo heftig trieb, daß alle Bemühungen, Ballaſt auszuwerfen, vergebens waren, das Waſſer in die Gondel drang, ſeine Beobachtungsregiſter zerſtörte und er ſelbſt ſeine Korkweſte anlegte. Hier zeigte ſich der Nutzen der Einrichtung ſeiner Gondel, welcher ſein eigenes Gewicht und das des eingedrungenen Waſſers als Ballaſt diente, ſo daß er vermittelſt des fliegenden Ballons mit reißender Schnelligkeit nach der Küſte trieb, wo ihn ein Schiff von Dunleary auffing, den Ballon befeſtigte und alles wohlbehalten in dieſen Hafen brachte.

Mit Ausübung und Verbesserung der Luftschifffahrt beschäftigte sich sehr viel der Graf Zambeccari, indem er um den Ballon lenken zu können, eine Charlière mit einer Montgolfière verband (s. d. Folg.) und selbst mehrere Male aufstieg. Er hatte bei seinen Luftfahrten verschiedene Unglücksfälle. Den 7. Octbr. 1803 stieg er mit noch zwei anderen zu Bologna auf, und zwar ging der Ballon bis zu einer solchen Höhe hinauf, daß die Luftschiffer ganz erstarrten und dem Grafen Zambeccari nachher in Venedig drei Finger abgenommen werden mußten. Der Ballon fiel endlich ins Meer und die drei Männer wurden durch einen Schiffer gerettet. Der Ballon aber flog nach dem Abschneiden der Gondel bis nach Bosnien und fiel bei der türkischen Festung Vihacs nieder. Dort erregte er solche Verwunderung, daß ihn der Commandant für einen Boten des Himmels ansah, ihn in Stücke zerschneiden ließ und diese an seine Freunde vertheilte. Bei einer zweiten Luftfahrt 1804 fiel Zambeccari ebenfalls ins adriatische Meer.

Es sind seitdem sehr viele Luftfahrten unternommen worden, aber immer sind die Luftballons nur erst noch ein lebensgefährliches Spielzeug geblieben. Nützliche Anwendungen sind ohne großen Erfolg versucht worden. Die vorzüglichsten Leistungen des Luftballons sind die, daß sie Naturforschern Gelegenheit gegeben haben, die Beschaffenheit der Atmosphäre in verschiedenen Höhen kennen zu lernen, jedoch fast nur um schon Bekanntes zu bestätigen. Am 24. August 1804 unternahmen die beiden berühmten französischen Physiker Biot und Gay-Lussac eine Luftfahrt und den 16. Septbr. stieg Gay-Lussac allein auf. Er erreichte eine Höhe von 3600 Toisen, d. i. 333 Toisen höher als der Chimborazo.

Im französischen Heere wurden während des Revolutionskrieges Anwendungen des Luftballons zu Auskundschaftung der Stellungen des Feindes gemacht, welche besonders durch den französischen General Meusnier betrieben wurden. So ließen die Franzosen am Tage der Schlacht bei Fleurus einen Ballon von 57 Fuß Umfang aufsteigen, welcher, weil es nur um eine senkrechte Aufsteigung zu thun war, durch 30 bis 40 Pferde gehalten wurde. Officiere in der Gondel des Ballons beobachteten das Lager der Oesterreicher und nachdem sie ihre Beobachtungen auf Zettel geschrieben, ließen sie dieselben an einer mit Blei beschwerten Schnur herab. Gegen einen Luftballon bei Maubeuge sollen 17 Kanonen ohne Erfolg gerichtet gewesen sein. — Man hat endlich kleine Charlièren statt der elektrischen Drachen (s. d. Art.) zu Beobachtungen über die Elektricität hoher Luftschichten angewendet. Man befestigt eine kleine Charlière aus Goldschlägerhaut an eine Schnur, in welche Metallfäden eingewebt sind, und bringt an dem Ball selbst eine metallene Spitze an, welche durch einen Draht mit der Schnur verbunden wird; das untere Ende der Schnur wird isolirt.

Die größeren Charlièren werden aus leichten seidenen Zeugen, wohl auch aus baumwollenen verfertigt, welche man mit einem Firniß überstreicht, um sie für das Wasserstoffgas weniger durchdringlich zu machen. Anfangs nahm man zu diesem Firniß in Terpentinspiritus aufgelöstes Federharz, nachher hat man sich vorzüglich des mit Terpentinspiritus verdünnten Leinölfirnisses bedient, welcher leichter trocknet. Man giebt den Ballons immer die Kugelgestalt, weil sie so bei der möglich kleinsten Oberfläche den größten Inhalt haben. Der Ball wird mit einem Netz von seidenen Schnüren überzogen und an dieses die Gondel befestigt, so daß auch die Seiten der Gondel, welche sehr leicht sein müssen, von den Schnüren

umgeben werden, damit der Luftfahrer nicht bei einer plötzlichen Wendung des Ballons, die er durch die in der Atmosphäre wechselnden Luftströmungen erhält, herausgeworfen werde. Unterwärts hat der Ball einen Schlauch, durch welchen er mit Gas gefüllt und der nach der Füllung geschlossen wird. Um den Ball nach Belieben steigen zu machen, nimmt man in die Gondel mit Sand gefüllte Säcke, Ballast, mit. So wie der Luftschiffer von diesem Sande ausschüttet, wird der Ballon erleichtert und steigt folglich höher. Ferner dient zur Lenkung der Charlièren eine Klappe oberwärts im Ballen, welche für gewöhnlich geschlossen ist, aber mittelst einer durch den Schlauch des Balles in die Gondel reichenden Schnur vom Luftschiffer geöffnet werden kann. Soll der Ballon sinken, so öffnet der Luftfahrer die Klappe, alsbald entweicht einiges Gas aus dem Ballen, derselbe nimmt einen kleineren Raum als vorher ein, verdrängt folglich einen geringeren Theil der Atmosphäre aus der Stelle, und da er selbst an Schwere verhältnißmäßig weniger verloren hat, so sinkt er herab. Je höher der Ballon in der Luft aufsteigt, desto geringer wird der Druck der Atmosphäre gegen seine Wände, desto mehr dehnt sich folglich das Wasserstoffgas im Innern des Balles aus, und der Luftfahrer muß endlich die Klappe öffnen, wenn der Ball nicht zerplatzen soll. Die Charlièren werden des zuletzt erwähnten Umstandes wegen, von Anfang an niemals ganz gefüllt, damit sich das Gas eine Zeitlang ausdehnen, ehe die Gefahr des Platzens eintritt. Durch das Auswerfen des Ballastes also kann der Luftfahrer den Ballon steigen, durch Oeffnen der Klappe ihn sinken lassen, und so kann er es durch gehörige Regelung beider Manöver dahin bringen, daß beim endlichen Niedersinken des Balles, dieser an einem passenden gefahrlosen Orte und allmälig, d. h. mit geringer Fallgeschwindigkeit die Erde berühre. Diese Mittel den Ballon steigen und sinken zu machen, haben nur den einen großen Nachtheil, daß sie nicht von unausgesetzter Anwendung sind. Durch jede Oeffnung der Klappe wie durch jedes Auswerfen von Ballast leidet der Luftschiffer einen nicht wieder zu ersetzenden Verlust, und muß daher sehr vorsichtig damit sein. Das Gas zur Füllung des Ballons wird in der Regel aus Eisenfeile mit verdünnter Schwefelsäure gewonnen. Hierbei werden gewöhnlich auf 1 Kubikfuß Gas im Mittel 4 Unzen Eisenfeile, 5 Unzen Vitriolöl und 18 Unzen Wasser gerechnet; oder 4,5 Unzen Eisen, eben so viel Vitriolöl und 22,5 Unzen Wasser; oder 6 Unzen Zink, gleichviel Vitriolöl und 30 Unzen Wasser. Das Eisen wendet man besser in Stücken als in Gestalt von Feile an, weil diese sich leicht zusammenballt und zu große Hitze entwickelt. Statt des Wasserstoffgases hat man sich auch des Steinkohlengases bedient. Es ist viel weniger kostbar als Wasserstoffgas, aber schwerer als dieses. Während Wasserstoffgas etwa $\frac{1}{7}$ bis $\frac{1}{10}$ so viel als ein gleiches Volumen atmosphärischer Luft wiegt, ist für Steinkohlengas dieses Verhältniß $= \frac{1}{4}$.

Da ein Luftballon sich nur dann erhebt, wenn sein Gewicht kleiner ist als ein dem seinen gleiches Volumen atmosphärischer Luft, so kann man nicht aus jeder Substanz Bälle von beliebiger Größe machen. Die Inhalte verschiedener Kugeln verhalten sich wie die Cuben der Durchmesser, die Oberflächen nur wie Quadrate der Durchmesser. Die Oberfläche einer Kugel nimmt also bei weitem

nicht in dem Maße mit dem Radius zu, wie der Kubikinhalt. Da nun der Ueberschuß des Gewichtes zwischen dem des ganzen Ballons und dem eines gleich großen Volumens Luft angiebt, welche Grenze des Gewichts die Masse des Ballons und alles was er an Last zu tragen hat, noch nicht erreichen darf, wenn der Ballon steigen soll, so ergiebt sich hieraus: 1) daß in Bezug auf jeden zu wählenden Stoff ein gewisser Durchmesser des Ballons der möglich kleinste ist, nämlich der, bei welchem das Gewicht des nöthigen Stoffes nur eben noch kleiner als jene Differenz ist, und 2) daß jeder Ballon, aus welchem Stoffe er auch bestehen mag, eine um so größere Last in die Höhe zu heben vermag, je größer sein Durchmesser ist. Die kleinsten Charlièren hat man aus Schafhäutchen verfertigt. Diese werden beim Lammen der Schafe erhalten, über mit Unschlitt bestrichene Formen gespannt und durch ihren eigenen Leim zusammengeklebt. Auf diese Weise kann man kleine Ballons von 3 — 36 Zoll Durchmesser herstellen, welche natürlich nur zur Belustigung dienen können. Aehnliche Ballons werden auch aus Goldschlägerhaut verfertigt; dieselben müssen wenigstens 6 Zoll im Durchmesser haben. Die Goldschlägerhaut wird aus dem Innern des Dickdarms von Ochsen gewonnen. Man läßt die Därme in Wasser etwas maceriren, zieht dann die innere Haut ab, spannt sie auf, reinigt sie vom Fett, reibt sie mit Bimstein ab und überzieht sie zum Schlagen des Goldes mit Firniß.

Die kleinsten Montgolfièren kann man aus der Matte der Elsenraupe bereiten. Hauptmann von Hebenstreit läßt die Elsenraupen ihre Matten in allen möglichen Formen und auch als Montgolfièren weben. Diese sind ohne Naht, zwei bis drei Fuß hoch und von 2 bis $2^1/_2$ Fuß oberem Durchmesser, unten durch einen dünnen Fischbeinstreifen aufgespannt und können durch einen angezündeten Fidibus zum Steigen gebracht werden. Man verfertigt auch kleine Montgolfièren von Papier, welche unten eine Oeffnung haben, in der ein Draht angebracht ist, an welchen ein Büschel in Spiritus getränkter Baumwolle befestigt wird. Zündet man den Spiritus nachher an, so wird die Luft im Ballon verdünnt und ausgedehnt, und derselbe erhebt sich in die Luft. Die größeren Montgolfièren sind aus Leinwand verfertigt und inwendig mit Papier ausgefüttert worden. Um sie gegen das Verbrennen zu schützen, werden sie inwendig mit einer Erdfarbe überstrichen oder vorher in einer Auflösung von Salmiak und Kalk eingeweicht; äußerlich überzieht man sie mit Oelfarbe, um sie vor Zerstörung durch den Regen zu schützen. Die Montgolfièren haben unterhalb ebenfalls eine Oeffnung, an welche ein Hals von einigen Fuß Höhe angenäht ist. Statt der Gondel ist unterhalb eine aus Weiden geflochtene Gallerie angebracht, die mit der inneren Seite an den Hals befestigt wird und nach außen an Seilen hängt, deren Enden an das den oberen Theil des Ballons bedeckende Netz geknüpft sind. Ungefähr ein Fuß über dem unteren Rande ist inwendig eine Gluthpfanne mit eisernen Stäben, die etwa 0,3 des inneren Raumes des Halses einnimmt, oder eine blechene Flasche mit Weingeistlampen an Ketten aufgehängt und im Schlauche sind Einschnitte angebracht, damit das Feuer durch sie von den Luftschiffern regiert werden kann. So wie nämlich die Hitze verstärkt wird, wird der Ballon zum Steigen bestimmt und durch Verminderung der Hitze zum Sinken. Man hat besondere Vorrichtungen angebracht, um eine beliebige Anzahl der Weingeistlampen nach Bedürfniß auslöschen oder anzünden zu können. Auf diese Weise lassen sich die Montgolfièren bei weitem bequemer als die Charlièren in Bezug auf Steigen und

Sinken regieren. Auch kommt es bei den Montgolfièren weniger als bei den Charlièren darauf an, daß der Ballon luftdicht iſt, weil der Wärmeverluſt, den ſie erleiden, ſogleich wieder erſetzt werden kann, während der Luftſchiffer bei einer Reiſe mit einer Charlière das einmal entwichene Gas nicht wieder erſetzen kann. Um größere Montgolfièren zu füllen, wird ein eigenes Gerüſt gebaut, mit einem etliche Fuß über daſſelbe hervorragenden und etwas engeren Schornſteine, als der Hals der Montgolfière iſt. Der Rand des Halſes wird dann auf das Gerüſt gelegt, die zuſammengefaltete Maſchine mit einem Seile durch Hülfe einer an aufgerichteten hohen Bäumen befeſtigten Rolle oder eines Flaſchenzuges in die Höhe gezogen; dann wird auf einem Roſte unter dem Schornſteine ein leichtes und wenig Rauch gebendes Feuer angezündet, ſo daß die erhitzte Luft in dem Halſe der Montgolfière aufſteigt und dieſe anſchwellt. Iſt dieſes hinlänglich geſchehen, ſo wird ſie etwas ſeitwärts geſchoben, die Aëronauten beſteigen mit den erforderlichen Geräthſchaften die Gallerie, zünden ſo viele Lampen an, als ſie nöthig glauben, und ſteigen ſo in die Höhe.

Es wurde ſchon oben erwähnt, daß ſich der Graf Zambeccari einer Maſchine bediente, welche aus einer Charlière und einer Montgolfière zuſammengeſetzt war, und die man eine Carolo-Montgolfière nennen kann. Die Charlière hatte 39′ 9″ Durchmeſſer und war unten mit zwei Schläuchen zum Füllen verſehen. Ueber der oberen Hälfte lag ein ſtarkes Netz von 128 Maſchen und lief von der Mitte aus durch vier kleinere Reihen vermindernd herab, bis ſich die letzten in 16 Punkten endigten, an denen eben ſo viele Stricke hingen, und ſich unten in einen 4,25 Fuß weiten Ring endigten. In dem zwiſchen ihnen befindlichen coniſchen Raume war die Montgolfière angebracht, eine Art Sack, gleichfalls aus Seidenzeug, welcher am Boden 22,6 Fuß Durchmeſſer und 15,9 Fuß Höhe hatte. Von einem Flaſchenzuge unter dem Ballon ging eine Kette durch den Boden der Montgolfière und trug eine an drei Armen hängende Weingeiſtlampe in Geſtalt eines Ringes von 1 Fuß innerem Durchmeſſer mit 32 Klappen, wodurch eben ſo viele Flammen ausgelöſcht oder entzündet werden konnten. Sie faßte 24 Pfund Weingeiſt und konnte heraufgezogen und herabgelaſſen werden. Am Ringe unter der Montgolfière war die Gallerie für die Aëronauten angebracht, aus drei ſtarken Reifen von Buchenholz, welche durch 16 gleich weit entfernte Stricke an einander befeſtigt waren. Der unterſte Reifen war doppelt und trug ein Gitter von zolldicken Stäben als Boden, in welchem ein 21 Zoll weiter, nachher mit einem Netze bedeckter Ausſchnitt zum Einſteigen gelaſſen war. Das Geſammtgewicht der Maſchine und alles deſſen, was ſie trug, war 1984 Pfund.

Um die Steigkraft des Ballons zu beſtimmen, diene folgende Betrachtung. Es ſei die Geſtalt des Ballons eine kugelförmige, die etwa vorkommende Abweichung wollen wir außer Betracht laſſen; es ſei d der Durchmeſſer dieſer Kugel, p ſei das Gewicht einer Raumeinheit atmoſphäriſcher Luft an der Erdoberfläche genommen, q das Gewicht der Raumeinheit der Luftart, mit welcher der Ballon gefüllt iſt, h ſei das Gewicht von einem Quadratfuß des Stoffes, aus dem der Ballon gefertigt iſt, und P ſei das Gewicht aller der ſchweren Maſſen, welche der Ballon heben ſoll, alſo der Schnure, der Gondel, Aëronauten und der von ihm mitgenommenen Dinge. Der Körperraum des Ballons iſt alſo $\frac{d^3\pi}{6}$, das

Gewicht der verdrängten Luft ist $\frac{d^3 p \pi}{6}$, das der eingeschlossenen $\frac{d^3 q \pi}{6}$; die Oberfläche des Ballons ist $d^2 \pi$, also das Gewicht der Hülle ist $d^2 b \pi$. Das absolute Gewicht des Aerostaten ist demnach $\frac{d^3 q \pi}{6} + d^2 b \pi + P$; dieses Gewicht muß kleiner sein als das Gewicht der verdrängten Luft, der Ueberschuß giebt die Steigkraft k an; diese ist also:

$$k = \frac{d^3 (p - q) \pi}{6} - d^2 b \pi - P.$$

Diese Formel sagt, daß die Steigkraft eines Ballons um so größer ist, je größer d und je kleiner q, b und P ist, d. h. je größer der Durchmesser des Ballons und je leichter die zur Füllung desselben benutzte Luftart und je geringer das Gewicht, das gehoben werden soll, ist.

In der Regel ist q, b und P gegeben und man soll d angeben. Soll der Ballon blos sich selbst heben, indem man ihm keinerlei Nebenlast anhängen will, so ist $P = 0$, und es muß dann, — damit der Ballon den Erdboden verläßt, folgendes Verhältniß stattfinden:

$$\frac{d^3 (p - q) \pi}{6} > d^2 b \pi, \text{ oder } d > \frac{6 b}{p - q}.$$

Wir wollen nun weiter annehmen, es sei für gewöhnlichen ungereinigten Wasserstoff $q = \frac{1}{7} p$, für Steinkohlengas $q = \frac{1}{4} p$ und für erhitzte Luft $q = \frac{2}{3} p$, so daß eine Erwärmung der Luft um etwa 93° C. vorausgesetzt wird; setzen wir nun weiter für gewöhnliche feuchte atmosphärische Luft $p = 2\frac{1}{2}$ Loth, so ergeben sich folgende Grenzwerthe:

	Wasserstoff,	Steinkohlengas,	erwärmte Luft.
$d >$	2,8 b	3,2 b	7,2 b.

Hierbei muß b in Lothen ausgedrückt sein, und es wird d in Fußen gefunden.

Ist nun das Gewicht eines Quadratfußes von Seidenpapier 0,15 Loth, von Postpapier 0,28 Loth, von Zeichenpapier 0,7 Loth, von Wachstaffet 1 Loth, von Kartenpapier 1,35 Loth und von Kupferblech in 0,1 Linie Dicke 13 Loth, so folgt hieraus folgende Tafel über den kleinsten Durchmesser des Aërostaten in Fußen:

Stoff für die Hülle	Wasserstoff	Steinkohlengas	Erwärmte Luft
Seidenpapier	0,42	0,48	1,08
Postpapier	0,784	0,896	2,296
Zeichenpapier	1,96	2,24	5,04
Wachstaffet	2,8	3,2	7,2
Kartenpapier	3,78	4,32	9,72
Kupferblech zu $\frac{1}{10}$ Linie .	36,4	41,6	93,6

Iſt der Durchmeſſer und die Steigkraft gegeben, ſo kann man leicht die Größe der Nebenlaſt angeben. Ein mit Waſſerſtoff gefüllter Ballon von Wachstaffet habe einen Durchmeſſer von 30′ und ſoll bei einer anfänglichen Füllung von $^3/_4$ ſeines Inhaltes noch eine Steigkraft von 30 Pfund beſitzen; wie groß kann die Nebenlaſt ſein?

Es iſt $$P = \frac{d^3 (p - q) \pi}{6} - d^2 b \pi - k;$$

Da die Füllung nur $^3/_4$ des Kugelinhaltes einnimmt, ſo muß das erſte Glied dieſes Werthes mit $^3/_4$ multiplicirt werden; es iſt alſo:

$$P = \frac{d^3 (p - q) \pi}{8} - d^2 b \pi - k.$$

Es iſt $d = 30$, $p = 2^1/_2$ Loth, $q = \frac{1}{7} p$, $b = 1$ Loth und $k =$ 30 Pfund; alſo

$P = 709{,}8 - 88{,}3 - 30 = 591{,}5$ Pfund; ſo groß kann alſo die Nebenlaſt ſein.

Aus nachfolgender Tabelle erkennt man die nach obiger Formel berechnete Steigkraft eines von Wachstaffet angefertigten Ballons, wenn derſelbe mit Waſſerſtoff oder Steinkohlengas gefüllt und die Füllung entweder vollſtändig oder nur zu $^3/_4$ des Volumens veranſtaltet iſt. Der Ballon iſt dabei ohne alle Nebenlaſt gedacht. Die Tabelle dient daher auch, um erkennen zu laſſen, wie ſtark ein gewiſſer Ballon mit Nebenlaſt beſchwert werden kann, um überhaupt noch ſteigen zu können.

Durchmeſſer	Vollſtändig gefüllt mit		Zu $^3/_4$ des Volumens gefüllt	
	Waſſerſtoff	Steinkohlengas	Waſſerſtoff	Steinkohlengas
5′	1,9	1,4	0,8	0,4
10′	25,2	20,9	16,5	13,2
15′	96,2	81,5	66,7	55,6
20′	241,3	206,2	171,1	144,8
25′	486,4	418	349,5	298,1
30′	858,2	739,8	621,5	532,8
40′	2087	1806,4	1526	1315,6
50′	4137	3590	3041	2630

Die Geſammtſteigkraft iſt in Pfunden angegeben.

Aus der Steigkraft eines Ballons und ſeinem Gewichte läßt ſich nun auch die Beſchleunigung finden, mit welcher er aufſteigt. Nach einer bekannten Regel der Dynamik erhält ein Körper vom Gewicht Q, wenn er durch eine Kraft K in Bewegung geſetzt wird, eine Beſchleunigung $\frac{K}{Q} g$, wenn g die bekannte Beſchleunigung der Schwerkraft bezeichnet. In unſerem Falle iſt

$$K = \frac{d^3(p-q)\pi}{6} - d^2 b\pi - P, \text{ und } Q = \frac{d^3 q\pi}{6} + d^2 b\pi + P;$$

folglich ist die Beschleunigung

$$\frac{d^3(p-q)\pi - 6\,d^2 b\pi - 6P}{d^3 q\pi + 6\,d^2 b\pi + 6P}\,g.$$

In dem zuletzt angenommenen Beispiel, wenn die Nebenlast wirklich 591,5 Pfund beträgt, ist das Gesammtgewicht des Ballons 591,5 + 88,3 + 118,3 = 798,1 Pfund. Danach ist die Beschleunigung der aufsteigenden Bewegung anfangs $\frac{30}{798,1}$. 31,25 = 1,17′. Die aufsteigende Bewegung des Aërostaten ist keine gleichförmig beschleunigte, sondern bei zunehmender Geschwindigkeit der Bewegung steigert sich der Luftwiderstand, bis derselbe gleich der Steigkraft wird, später aber nimmt auch die Steigkraft ab, so daß die Bewegung, nachdem sie das Maximum der Geschwindigkeit erreicht hat und eine Zeitlang gleichförmig gewesen ist, allmälig langsamer wird und zuletzt verschwindet. Das Maximum der Geschwindigkeit könnte man durch die Betrachtung finden, daß in diesem Falle der Luftwiderstand gleich der Steigkraft sein muß. Bezeichnen wir mit k den Luftwiderstand gegen eine ebene Fläche von 1 Quadratfuß bei einer Geschwindigkeit von 1′, so ist der Widerstand gegen eine ebene Fläche f bei der Geschwindigkeit v annähernd = f k v², gehört aber die Fläche f einer Kugel an, d. h. ist sie die vordere Fläche einer Kugel, so ist dieser Widerstand = $\frac{2}{5}$ f k v². Setzt man diesen Widerstand gleich der Steigkraft K, so folgt:

$$v = \sqrt{\frac{5K}{2fk}}, \text{ in unserem Falle ist } f = \frac{1}{2} d^2\pi, \text{ also ist:}$$

$$v = \sqrt{\frac{5_1 K}{d^2\pi k}}.$$ Setzen wir für k den Werth 0,00162, so erhalten wir in Anwendung auf das oben gewählte Beispiel, wo K = 30, und d = 30 ist:

v = 5,72. Der Ballon kann also keine größere Geschwindigkeit als etwa 6′ annehmen.

Steigt der anfangs nicht vollständig gefüllte Ballon, so dehnt sich bei den Charlièren das im Ballon eingeschlossene Gas aus in demselben Maße, als die äußere atmosphärische Luft dünner wird; das Verhältniß von p und q bleibt dasselbe, obwohl die absoluten Werthe geringer werden, da aber im gleichen Verhältniß das Volumen des Ballons zunimmt, so bleibt bis zur vollständigen Aufblähung die Steigkraft unverändert, ja sie wird sogar etwas wachsen, da in der Regel die obere atmosphärische Luft kälter als die untere ist, das in den Ballon eingeschlossene Gas aber seine ursprüngliche Wärme nicht sogleich verliert; nur indem der Ballon in Folge einer nicht ganz zu beseitigenden Porosität Gas verliert, kann schon in der ersten Periode die Steigkraft geringer werden. Nach der vollendeten Aufblähung muß die Steigkraft immer mehr abnehmen, denn je dünner die atmosphärische Luft ist, in welcher sich der Ballon befindet, desto geringer muß der Ueberschuß des Gewichts einer dem Ballon gleichen

Luftmenge über das Gewicht des eingeſchloſſenen Gaſes ſein. Wird mit Hülfe des Ventils Gas aus dem Ballon ausgelaſſen, ſo kann die Wirkung doppelter Art ſein.

Steigt der aufgeblähte Ballon noch weiter, ſo wird die Spannung des eingeſchloſſenen Gaſes allmälig größer als die der äußeren Luft und es tritt die Gefahr ein, daß der Ballon zerplatzt; dieſe Gefahr kann man durch Herauslaſſen von ſo viel Gas beſeitigen, bis Spannungsgleichheit erzielt iſt. Da dieſer Gasverluſt den Ballon erleichtert, ohne ſein Volumen zu vermindern, ſo muß dadurch die Steigkraft, wenn auch nur um ein ſehr Geringes, vermehrt werden. Wird aber noch mehr Gas ausgelaſſen, ſo wird der Ballon durch den Zug der daran hängenden Nebenlaſt zuſammengedrückt, ſeine Steigkraft wird geringer, und zuletzt wird er ſinken. Hat einmal das Geſammtgewicht des Aëroſtaten das Uebergewicht bekommen über den Auftrieb der Atmoſphäre, ſo bleibt der Ballon im Sinken, denn obwohl er in immer dichtere Luft hinabſinkt, die tragfähiger iſt, ſo wird doch im gleichen Verhältniß ſein Volumen geringer. Hieraus folgt auch, daß die Kraft, welche ihn hinabtreibt, im Allgemeinen unveränderlich ſein wird, und daß er in Folge des Luftwiderſtandes bald eine gleichförmige Bewegung annehmen muß, deren Geſchwindigkeit im Verhältniß mit der abwärtstreibenden Kraft ſtehen wird. Da dieſe wiederum abhängig ſein wird von der Menge des ausgelaſſenen Gaſes, ſo folgt, daß es ganz in die Hand des Aëronauten gegeben iſt, mit welcher Geſchwindigkeit er ſich aus ſeiner Höhe herablaſſen will. Eine Unterbrechung des Sinkens und ein abermaliges Steigen iſt nur durch Verminderung des Geſammtgewichts — etwa durch Auswerfen von Ballaſt möglich. Die Rechnung wird dieſe Betrachtung noch näher beſtimmen.

Bezeichnet n den Bruchtheil des Ballonvolumens, bis zu welchem die urſprüngliche Füllung vor ſich geht, ſo ändert ſich danach die obige Formel für K, welche die vollſtändige Füllung vorausſetzt, folgendermaßen ab:

$$K = \frac{n\,d^3(p-q)\pi}{6} - d^2 b\pi - P.$$

Der Ballon wird dann vollſtändig aufgeblaſen ſein, wenn er ſich in einer Höhe befindet, in welcher die Luftdichte und alſo auch die Barometerhöhe das n fache der Luftdichte oder Barometerhöhe des Ausgangsortes beträgt. Die Höhe h dieſes Punktes wird ſich alſo ergeben aus der Gleichung:

$$h = \frac{B}{D} \log\text{ nat. } \frac{1}{n},$$

in welcher B die Barometerhöhe und D die Dichte der Luft am Ausgangsorte bezeichnet, letztere bezogen auf die Barometerflüſſigkeit. Nehmen wir nun an, daß beim weiteren Steigen des Ballons ſtets ſo viel Gas herausgelaſſen wird, als zur Herſtellung des Gleichgewichts der Luftſpannungen nothwendig iſt, und nehmen die p und q beim höchſten Stande des Ballons die Werthe p′ und q′ an, ſo folgt, weil hier die Steigkraft verſchwinden muß:

$$\frac{d^3(p'-q')\pi}{6} = d^2 b\pi + P, \quad \text{oder} \quad p'-q' = \frac{6(d^2 b\pi + P)}{d^3\pi};$$

das Verhältniß der Luftverdünnung iſt demnach:

$\frac{p' - q'}{p - q} = \frac{6\,(d^2\,b\,\pi + P)}{d^3\,\pi\,(p - q)}$, und die Höhe H, zu welcher sich der Ballon überhaupt zu heben vermag, wird sein:

$$H = \frac{B}{D} \log \text{nat} \frac{d^3\,\pi\,(p - q)}{6\,(d^2\,b\,\pi + P)}.$$

Wollte man jedoch annehmen, der Ballon wäre aus so starkem Zeuge bereitet, daß er die steigende Spannung des eingeschlossenen Gases ertragen könnte, und daß von diesem kein Abfluß erfolgte, so bleibt das Gewicht der eingeschlossenen Luftart unverändert $\frac{n\,d^3\,q\,\pi}{6}$, und für die größte Höhe des Ballons besteht die Bedingungsgleichung:

$$\frac{d^3\,p'\,\pi}{6} = \frac{n\,d^3\,q\,\pi}{6} + d^2\,b\,\pi + P, \text{ oder}$$

$$p' = \frac{n\,d^3\,q\,\pi + 6\,d^2\,b\,\pi + 6\,P}{d^3\,\pi}, \text{ und für die Höhe selbst ergiebt sich dann:}$$

$$H' = \frac{B}{D} \log \text{nat} \frac{p}{p'} = \frac{B}{D} \log \text{nat} \frac{d^3\,p\,\pi}{n\,d^3\,q\,\pi + 6\,d^2\,b\,\pi + 6\,P}.$$

Der Werth H' wird etwas kleiner sein als H.

Ist B als Barometerstand an dem Aufsteigungsorte des Ballons = 28'', = $2^1/_3$', D aber = $\frac{1}{13{,}6\,.\,770}$, so ist $\frac{B}{D} = 2^1/_3\,.\,13{,}6\,.\,770 = 24435$.

In unserem oben angenommenen Beispiele war der Ballon ursprünglich zu $^3/_4$ gefüllt, es ist also $n = {}^3/_4$ und $\frac{1}{n} = {}^4/_3$, und wir erhalten:

$$h = 7030', \qquad H = 8085', \qquad H' = 7874'.$$

Die Formeln für H und H' zeigen noch, daß sie größere Werthe liefern, wenn P kleiner wird, daß also durch Auswerfen von Ballast eine größere Steighöhe erzielt wird.

Es bleibt uns hier noch übrig, aus den oben entwickelten Formeln die auffallende Erscheinung zu erklären, warum ein Luftballon, nachdem man ihn durch Ausströmenlassen von Gas zum Sinken gebracht hat, so daß er den Erdboden erreicht, durch Verminderung der Nebenlast, etwa durch Aussteigen eines Luftschiffers, die Fähigkeit erhält, sich höher als zuvor zu erheben.

Diese Erscheinung erklärt die obige Formel für H; diese zeigt nämlich, daß die Höhe, bis zu welcher sich der Ballon erheben kann, unabhängig von der Menge des eingeschlossenen Gases — sofern dieses ihm nur Steigkraft ertheilt — dagegen vorzugsweise abhängig ist von der Größe der mitgenommenen Nebenlast. Wählen wir hier wieder ein Zahlenbeispiel, indem wir uns dem bereits oben angenommenen Beispiel wieder anschließen. Der Aëronaut, welcher unseren 30fußigen Luftball führt, soll so viel Gas haben ausströmen lassen, daß der Aërostat dadurch eine relative Schwere von 20 Pfund erhält. Der Luftball sinkt nun zu Boden, hier steigt ein Genosse des Luftschiffers aus und erleichtert die Gondel um 120 Pfund. Wie hoch wird sich jetzt der Luftball wieder heben?

Da die Nebenlaſt um 120 Pfund geringer wird, ſo erhält der Ball wieder eine Steigkraft von 120 — 20 = 100 Pfund; mit einer dieſer Steigkraft entſprechenden Geſchwindigkeit erhebt er ſich und erlangt eine Höhe, welche aus der Formel

$$H = \frac{B}{D} \log \text{nat} \frac{d^3 \pi (p - q)}{6 (d^2 b \pi + P)}$$

gefunden wird, wenn wir in derſelben für P nicht den früheren Werth 591,5 Pfd. ſetzen, ſondern 591,5 — 120 = 471,5 Pfd. Die Rechnung liefert den Werth H = 12830′. Der Ballon erhebt ſich alſo jetzt um mehr als die Hälfte höher als vorher.

Es verſteht ſich von ſelbſt, daß die gewonnenen Rechnungsreſultate nur die allgemeinen Werthe enthalten, da wir auf die beſonderen Einflüſſe, durch welche jene Reſultate eine geringe Aenderung erleiden, nicht Rückſicht genommen haben, auf einige Umſtände aber, wie den fortlaufenden Verluſt von Gas, der durch die nicht abſolute Dichtheit des Ballons herbeigeführt wird, nicht Rückſicht nehmen können. Die angeſtellten Rechnungen betreffen nur die Charlièren, die Bewegung der Montgolfièren läßt ſich ihrer Natur nach keiner Rechnung unterwerfen. Es wird hier von der Stärke des Feuers, durch welches die Erwärmung der inneren Luft unterhalten wird, abhängen, ob der Aëroſtat ſich hebt oder ſenkt, und gerade dieſer Umſtand bedingt den Vorzug dieſer Art von Aëroſtaten, deren Bewegung mehr in die Willkür und in das Geſchick des Luftſchiffers gelegt iſt. Weitere Folgerungen aus den oben entwickelten Formeln, ſo wie Erörterungen über die Möglichkeit den Aëroſtaten zu lenken, ſiehe in dem Artikel Luftſchifffahrtskunde. W. S.

Luftblaſen nennt man größere oder kleinere Luftmengen, welche allſeitig von einer tropfbaren Flüſſigkeit eingeſchloſſen ſind. Man rechnet hierher aber auch diejenigen Blaſen, deren Inhalt in ähnlicher Weiſe andere Gasarten, z. B. Kohlenſäure, bilden. Man hat die Luftblaſen in zwei Klaſſen eingetheilt, nämlich in ſolche, welche von einem dünnen Häutchen tropfbarer Flüſſigkeit umgeben ſind, und in diejenigen, welche ſich in einer Maſſe irgend einer Flüſſigkeit befinden. Zu den erſteren können unter anderen die atmoſphäriſchen Dunſtbläschen (ſ. d. Art. Dunſt) und die Seifenblaſen gezählt werden. Zur Bildung ſolcher Luftblaſen ſind zähe Flüſſigkeiten, wie Seifenwaſſer, Auflöſungen von Harzen und Oelen in Alkohol ꝛc. beſonders geeignet. Die Blaſen, welche innerhalb einer Flüſſigkeitsmaſſe hervortreten, haben gleich jenen meiſt eine rundliche Geſtalt, weil die eingeſchloſſene Luftmenge ſich nach allen Richtungen hin gleichmäßig auszudehnen ſtrebt. Dieſe Geſtalt erleidet aber mehr oder weniger bedeutende Veränderungen, wenn die Blaſen gemäß dem Unterſchiede ihres ſpecifiſchen Gewichts von dem der tropfbaren Flüſſigkeit und nach dem Grade des Widerſtandes in die Höhe ſteigen. Bei den frei in der Atmoſphäre ſchwebenden Blaſen kann eine Verlängerung der letzteren dadurch bewirkt werden, daß eine größere Menge der tropfbaren Flüſſigkeit, woraus die Hülle beſteht, ſich an dem unteren Theile anſammelt. Durch den Widerſtand der Luft beim Herabfallen der Blaſe wird aber dieſe Verlängerung vermindert und die Blaſe der Kugelform wieder näher gebracht. Man weiß nun, daß tropfbare Flüſſigkeiten atmoſphäriſche Luft und andere Gasarten abſorbirt enthalten (ſ. d. Art. Abſorption). Durch Verminderung des Luftdrucks, durch

Temperaturerhöhung und wohl auch ſchon in geringerem Grade durch mechaniſche Bewegung wird ein Theil der abſorbirten Gaſe in der Form von Bläschen frei. Hierher gehört das Mouſſiren verſchiedener Getränke, wie der Biere und Mineralwäſſer. Auch bei vielen chemiſchen Vorgängen werden Luftblaſen in großer Anzahl entwickelt, wenn ein Stoff, wie während der Gährung die Kohlenſäure, gasförmig ausgeſchieden wird.

Das Aufſteigen der Luftblaſen innerhalb einer tropfbaren Flüſſigkeit hat Theremin *) analytiſch unterſucht. An der Oberfläche tritt die Luft aus der tropfbaren Hülle heraus, indem die letztere zerfließt, oder die Bläschen nehmen die Form von Halbkugeln oder ſphäroidiſchen Segmenten an, wenn die Flüſſigkeit hinreichend klebrig oder zähe iſt. Durch die Berührung ſolcher Blaſen wird die ſphäriſche Form abgeändert, indem an dem Berührungspunkte je zweier Hüllen eine Ebene entſteht, woraus die Form von Polygonen reſultirt. Sammelt ſich eine große Anzahl von Luftblaſen an der Oberfläche einer Flüſſigkeit an, ſo bilden ſie durch ihre Berührung den Schaum, der in Folge des vielen weißen Lichts, das von den zahlloſen Oberflächen der Bläschen reflectirt wird, bedeutend heller als die Flüſſigkeit, und falls dieſe ungefärbt iſt, ſehr weiß erſcheint. Wenn eine ſtarke Blaſenbildung im Innern einer Flüſſigkeit ſtattfindet, ſo kann die letztere auch ganz die Form des Schaumes annehmen. — Beim Erſtarren einer Flüſſigkeit, z. B. beim Gefrieren des Waſſers, wird die abſorbirte oder beigemengte Luft ebenfalls oft in der Form von Blaſen entwickelt, und hierbei entſtehen denn auch in der erſtarrten Maſſe mit Luft erfüllte Räume, welche häufig röhrenförmig geſtaltet ſind.

Luftelektricität bezeichnet diejenigen elektriſchen Zuſtände, welche der Atmoſphäre als ſolcher, auch unabhängig von der Erſcheinung des Gewitters, zukommen. Die Atmoſphäre befindet ſich ſtets in einem beſtimmten elektriſchen Zuſtande, welcher ſich, zahlreichen Beobachtungen zufolge, vorherrſchend als der poſitiv elektriſche erwieſen hat. Die Luftelektricität iſt namentlich bei heiterem Wetter ſtets poſitiv und erfährt, dem Anſcheine nach, im Verlaufe eines Tages (24 Stunden) eine periodiſche Zu- und Abnahme.

Zu den älteſten Beobachtungen über die Elektricität der Atmoſphäre müſſen die von de Romas mit dem elektriſchen Drachen (ſ. d. Art.) gerechnet werden. Hierauf folgen die Wahrnehmungen von Le Monnier **), Mazeas ***), Kinnersley ****), Beccaria *****), Romayne †), Henley ††) und Cavallo †††). Genauere Beobachtungen wurden dann von de Sauſ-

---

*) Crell's Journal für reine und angewandte Mathematik. Th. V. S. 93 und 374.

**) Mém. de Paris. 1752.

***) Phil. Trans. Vol. XLVIII. No. 57.

****) Phil. Trans. Vol. LIII. No. 211.

*****) Lettere dell' elettricismo. Bologna 1758. 4. u. Elettr. artificiale. Torino 1772. Dazu: Osservazione della electricità terrestre atmosferica a cielo sereno. Ueberſ. in Gilb. Ann. Bd. LI. S. 49.

†) Phil. Trans. Vol. LXII. p. 133.

††) Phil. Trans. Vol. LXII. p. 422.

†††) Vollſtändige Abhandlung über die Elektricität. Leipzig 1797. Th. I. S. 327.

ſure *) angeſtellt, während Volta **) die Empfindlichkeit der hierher gehörigen Inſtrumente ſteigerte. J. Read ***) publicirte eine Beobachtungsreihe, die ein ganzes Jahr (vom Mai 1789 bis Mai 1790) umfaßt. Neuere Beobachtungen über die elektriſchen Zuſtände der Atmoſphäre machte in England Graſſe ****) und in Frankreich Cotte *****), aber noch vor dieſen beobachtete in Deutſchland Hammer ******) die Elektricität der Wolken. Genauer wurde die Elektricität der Wolken und atmoſphäriſchen Niederſchläge von Heller †) in den Jahren von 1792 bis 1796 beobachtet. Gersdorf ††) verbeſſerte hiernach die Apparate und ſtellte mehrjährige Beobachtungen in der Oberlauſitz an. Umfaſſendere Beobachtungen wurden dann namentlich von Schübler †††) angeſtellt, die von vielen anderen Beobachtern in neuerer Zeit wiederholt und theilweiſe erweitert worden ſind. Wir führen hier an: Weekes ††††), Peltier †††††), Becquerel *†), Sturgeon **†), Duprez ***†), Lamont, Dellmann. Von Wichtigkeit für die Theorie der atmoſphäriſchen Elektricität ſind auch verſchiedene Verſuche von Erman ****†), von denen ſpäter noch die Rede ſein wird. Sauſſure ſtellte zuerſt eine Theorie dieſer Erſcheinungen auf, dann auch in einem gewiſſen Sinne Erman, Prechtl *****†), gegen welchen letzteren Configliachi †*) auftrat, Becquerel ††*), Peltier und Lamont.

Bevor wir nun auf den Gegenſtand ſelbſt näher eingehen, wollen wir uns zunächſt mit den Vorrichtungen bekannt machen, welche man gebraucht hat, um die elektriſchen Zuſtände der Atmoſphäre zu beobachten. Cavallo †††*) gab zuerſt ein ziemlich einfaches Mittel an, um die Elektricität der Atmoſphäre aus dem Fenſter eines Zimmers zur Wahrnehmung zu bringen. An dem vorderen Ende einer mehrere Fuß langen Stange von Holz wird ein mit Siegellack über-

*) Voyages dans les Alpes par Hor. Ben. de Saussure. T. III. Genève 1786. Chap. 28. Deutſch Leipz. 1787. S. 231.

**) Meteorologiſche Briefe. Aus Brugnatelli's biblioteca fisica di Europa. T. I. Leipzig 1793.

***) Phil. Trans. T. LXXXXI. p. 185. Gren's Journ. Bd. VI. S. 234.

****) Gilbert's Ann. Bd. LI. S. 60.

*****) Journ. de Phys. T. I. Gren's Journ. Bd. III. S. 420.

******) Ephemerides societ. meteor. Palat. T. I. p. 85—87 und Anleitung, Wetterableiter an allen Arten von Gebäuden auf die ſicherſte Art anzulegen. Offenbach 1786.

†) Gren's neues Journal der Phyſik. Bd. IV. S. 55.

††) Ueber meine Beobachtungen der atmoſphäriſchen Elektricität ꝛc. Göttingen 1802. Mit 15 Kupfertafeln.

†††) Schweigger's Journ. Bd. III. S. 123, Bd. VIII. S. 21, Bd. IX. S. 347. Bd. XI. S. 337, Bd. XIX. S. 1, Bd. LV. S. 249.

††††) Sturgeon's Annals of Electricité. T. V. p. 89.

†††††) Archives de l'Electricité. T. IV. No. 14. Compt. rend. T. I. p. 95, T. III. p. 145, T. X. p. 712, T. XII. p. 307.

*†) Traité de l'Electricité et du Magn. T. IV. p. 110.

**†) Lond. and Edinb. Phil. Mag. No. 30. T. V. p. 418.

***†) Mém. couronnés et Mém. de sav. Etrang. de l'Acad. Roy. des Sci. et Belles-Lettres de Bruxelles T. XV. 1843. p. 1 ff.

****†) Gilbert's Ann. Bd. XV. S. 385. 502.

*****†) Gehler's Journ. für Chem., Phyſ. u. Mineral. Bd. VIII. S. 297.

†*) Schweigger's Journ. Bd. II. S. 69.

††*) Pogg. Ann. Bd. XVII. S. 533.

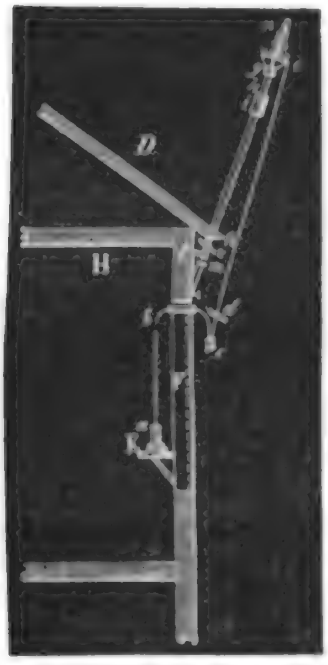
†††*) Vollſt. Abhandl. von der Elektric. Th. I. S. 343.

zogenes Glasstäbchen befestigt, an dessen Ende sich eine Korkkugel befindet. In letztere ist eine Nadel gesteckt, die an einem Bindfaden befestigt ist, dessen zweites Ende der Beobachter in der Hand hält. Soll die Elektricität der Atmosphäre untersucht werden, so wird der Stab zum Fenster des oberen Stockes eines Hauses hinaus und das andere Ende mit der Kugel so hoch gehalten, daß es mit dem Horizont einen Winkel von 50 bis 60 Grad bildet. Hat das Instrument einige Zeit diese Lage gehabt, so wird die Stecknadel mittelst des Bindfadens aus der vorderen Kugel gezogen und der elektrische Zustand der Kugel mittelst eines Elektroskopes geprüft. Bei Regenwetter brachte Cavallo über dieser Röhre einen kleinen Schirm von Eisenblech an, um jene trocken zu erhalten. Ein ähnliches Verfahren wandte Coulomb an. Eine kleine Metallkugel wurde an das Ende eines Siegellackstäbchens befestigt, welches dieselbe isolirte, und das Stäbchen an das Ende einer 3 bis 6 Fuß langen hölzernen Stange angebracht. Zur Prüfung des elektrischen Zustandes der Atmosphäre wird die Stange in der Luft in die Höhe gehalten und die kleine Kugel auf einen Augenblick mit einem in der Hand gehaltenen Metalldrahte berührt. Hiernach senkt man die Kugel und prüft ihre Elektricität. Bei diesen Vorrichtungen ist also zur Prüfung der Kugel noch ein getrenntes Elektrometer (s. d. Art.) nöthig; man hat aber mit Erfolg den zur Aufnahme der Elektricität dienenden Leiter an dem Elektrometer selbst befestigt. Sauſſure versah den oberen Punkt seines Elektrometers mit einer Spitze und ließ gewöhnlich den etwa 2 Fuß langen Draht aus mehreren Stücken zusammensetzen, um ihn vermittelst eines Futterales bequem in der Tasche transportiren zu können. Das Elektrometer wurde vor dem Regen durch einen am Glase angebrachten Schirm geschützt. Am vortheilhaftesten ist es nach Volta, auf der Spitze des Elektrometers eine Flamme, etwa eine kleine Weingeistflamme, einen brennenden Schwefelfaden oder ein Stück brennenden Zunders (Schwammes) anzubringen, so daß eine aufsteigende Dampf- oder Rauchsäule gebildet wird. Wenn es regnet, so läßt sich auch eine Laterne mit einem brennenden Lichte auf der Spitze befestigen. Man kann die metallene Spitze auf einer Glasröhre befestigen, die an dem einen Ende eines langen hölzernen Stabes, der auch transportabel eingerichtet werden kann, angebracht ist, und von der Spitze einen Draht zu dem Elektrometer heruntergehen lassen.

Es ist bereits erwähnt worden, daß die Atmosphäre meist positiv elektrisch ist, und zwar, wie späterhin zu erwähnende Versuche gelehrt haben, um so stärker, je höher man sich in ihr erhebt. Ein vertical in der Luft gehaltener isolirter Leiter wird durch Vertheilung elektrisirt, daher wird sein oberes Ende negativ, sein unteres positiv elektrisch. Prüft man nun sein unteres Ende, wie dies bei den aufgerichteten Stangen, beim Drachen und bei den Spitzen nach Sauſſure und Volta geschieht, so erhält man Anzeigen positiver Elektricität. Die Angaben des Elektrometers geben folglich direct den elektrischen Zustand der Atmosphäre an. Bei den Vorrichtungen dagegen nach Cavallo und Coulomb wird die durch Vertheilung erregte positive Elektricität des unteren Endes des isolirten Leiters nach dem Boden abgeleitet und die Kugel behält den negativ elektrischen Zustand, welchen das Elektrometer anzeigt. Man muß also, um die Elektricität der Atmosphäre kennen zu lernen, die Angaben des Instrumentes umgekehrt nehmen.

Man kann sich bei diesen Vorrichtungen aller Arten von Elektrometer bedienen, am bequemsten zum Transport erschien aber das Volta'sche Strohhalm-

elektrometer, welches man nach Bedürfniß von verſchiedener Empfindlichkeit einrichten, und deren verſchiedene Exemplare man ſo herſtellen kann, daß ihre Angaben auf einander bezogen werden können. Um auch in den Fällen die Elektricität der Atmoſphäre unterſuchen zu können, wenn man das Elektrometer nicht ſogleich an derſelben Stelle beobachten kann, haben ſich Volta, Cavallo und Schübler bei ihren Unterſuchungen eines einfachen Leidner Fläſchchens von dünnem Glaſe mit 10 bis 12 Quadratzoll innerer Belegung bedient, deſſen Zuleiter aus einem 2 Zoll über das Fläſchchen herausragenden Metallſtifte beſteht, auf den durch eine iſolirte Handhabe ein Metalldraht von 3 Fuß Länge geſetzt wird, welcher unten ſpiralförmig gewunden und oben mit einer Flamme verſehen iſt. Nach Ladung des Fläſchchens wird dieſer Draht wieder weggenommen. Man kann das Fläſchchen in's Zimmer tragen und hier ſeinen elektriſchen Zuſtand prüfen. Um die Elektricität in einer ſolchen Flaſche längere Zeit zu erhalten, hat Cavallo in den Hals der wie gewöhnlich belegten Flaſche eine an beiden Enden offene Glasröhre gekittet, an deren unterem Ende ein kleiner Draht befeſtigt iſt, der mit der inneren Belegung in Verbindung ſteht. Der Draht mit dem gewöhnlichen Knopfe der Flaſche iſt in eine andere Glasröhre gekittet, die ſo dünn iſt, daß ſie ſich in jene erſte ſtecken läßt, aber doppelt ſo lang als dieſe. Der den Knopf tragende Draht ragt aus dieſer Röhre hervor und kann leicht mit dem erſten die innere Belegung berührenden in Verbindung geſetzt werden. Hat man die Flaſche geladen, ſo wird der Knopf mittelſt der dünneren Glasröhre herausgezogen, und die Flaſche ſoll nun ihre Elektricität lange behalten. Wenn man ſpäter ihren elektriſchen Zuſtand prüfen will, ſo ſteckt man die Röhre mit dem Knopfe wieder hinein und verfährt nun wie gewöhnlich bei der Prüfung der Elektricität einer geladenen Flaſche. — Bei nicht ſehr empfindlichen Elektrometern iſt zur Wahrnehmung der atmoſphäriſchen Elektricität mitunter die Beihülfe eines Condenſators nöthig.

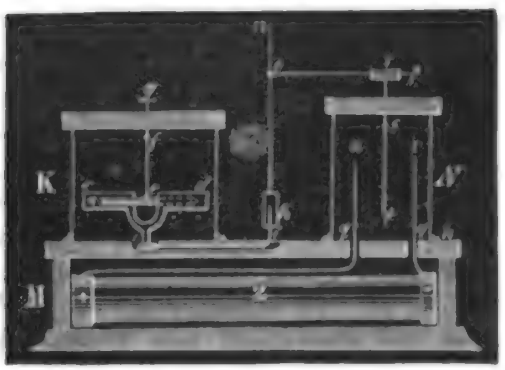


Einen ſogenannten ſtehenden Apparat zur Beobachtung der atmoſphäriſchen Elektricität, der an einem Hauſe anzubringen iſt, hat J. Read *) angegeben. Dieſer Apparat ſoll die verſchiedenen Grade der Luftelektricität durch ein Elektrometer und Glockenſpiel (elektriſches) anzeigen. Wir geben hier die Beſchreibung eines von Romershauſen **) conſtruirten Apparates zur Beobachtung der atmoſphäriſchen Elektricität. Die nebenſtehende Figur zeigt die Anbringung des Apparates an jeder beliebigen Wohnung und für jedes Stockwerk derſelben. H bezeichnet das Haus, D deſſen Dach und F irgend ein Fenſter des Wohnzimmers eines Beobachters. Die Auffangſtange m n ruht oberhalb des Fenſters in einem ſtarken eiſernen Schuh m und wird, vermittelſt eines einzuhängenden Hakens l, in einem Einſchnitt k des Daches leicht und ſicher befeſtigt. Dieſe etwa

*) Phil. Trans. 1791. T. LXXXI. p. 185. Gren's Journ. Th. VI. S. 234.
**) Pogg. Ann. Bd. LXIX. S. 71.

10 bis 12 Fuß lange Stange von lackirtem Tannenholz iſt bei i mit einer Meſſinghülſe verſehen, in welche der maſſive, mit Schellack überzogene $1^1/_2$ Fuß lange Glasſtab h eingekittet iſt. Dieſer trägt oberhalb die Auffangevorrichtung g n. An einem 5 Zoll im Durchmeſſer haltenden flachen Kupferringe e ſind im Innern kupferne, galvaniſch vergoldete und nach oben fein zugeſpitzte Auffangedrähte angelöthet, ſo daß ſie etwas nach außen gebogen gleichſam eine Krone bilden. Eine im Durchmeſſer derſelben angebrachte und etwas nach unten gebogene Kupferſchiene trägt unterhalb die Hülſe g zur Befeſtigung auf der Glasſtange h, und oberhalb iſt eine höhere Drahtſpitze n eingelöthet. Dieſelbe iſt vergoldet und ringsum mit den feinſten haarförmigen Platinſpitzen umgeben. Der Leitungsdraht d e (von Kupfer) wird bei e an den Kupferring angelöthet, und bei d erhält derſelbe ein kleines Dach von Blech, welches den Regen abführt. An den Leitungsdraht d e iſt ſodann unten bei e eine kleine gut paſſende Kupferhülſe zum Einhaken an die aus dem Zimmer kommende Drahtleitung angelöthet. Der Fenſterrahmen iſt in der oberen Ecke durchbohrt, um den in einer Glasröhre mit Schellack wohl eingekitteten Leitungsdraht zu befeſtigen und vollſtändig iſolirt in das Zimmer zu führen. Bei b iſt derſelbe nach a herabgebogen und mit dem ſeitwärts vom Fenſter und außer der unmittelbaren Einwirkung der Sonnenſtrahlen angebrachten Elektrometer E verbunden.

Die elektrometriſche Vorrichtung zeigt beiſtehende Figur in einem Drittheil der wirklichen Größe und im ſenkrechten Durchſchnitt. In einem Glascylinder K, der in einem auf dem Holzkäſtchen M angebrachten Metallring ruht, befindet ſich das hier breiter gezeichnete Kreuz c d o, welches aus dem feinſten Kupferblech beſteht und galvaniſch vergoldet iſt; ſeine Breite beträgt nur $^1/_2$ Linie. Unten bei o iſt daſſelbe an dem in eine Glasröhre eingeſchloſſenen und mit Schellack in den Cylinder wohl iſolirt eingelaſſenen Leitungsdraht o i angelöthet. An die Flächen der Arme c und d legt ſich der an einem Coconfaden f e hängende Wagebalken a dieſſeits und jenſeits in linearer Richtung an. Dieſer Wagebalken iſt aus unächtem Goldlahn ſo leicht als möglich gefertigt und in ſeiner Mitte (auf einer Oberkante) mit einem Tröpfchen Siegellack und etwas Klebwachs an dem Coconfaden e f befeſtigt. Letzterer iſt auf gleiche Weiſe bei f an den Träger g angeheftet, welcher in einem in einer Metallfaſſung angebrachten Korke beweglich ruht.



Romershauſen bemerkt, daß dieſes nach dem Princip der Coulomb'ſchen Drehwage von ihm conſtruirte Elektrometer das allerempfindlichſte ſei, da nicht allein die durch i o einſtrömende Elektricität an den beiden Enden des Kreuzes c und d am wirkſamſten auftrete, ſondern auch das Bewegungsmoment der Abſtoßung den Wagebalken auf ſeiner ganzen Länge und auf beiden Seiten in gleichem Sinne treffe. Daſſelbe ſei auch ziemlich vergleichbar, wenn man den Wagebalken zur Beſeitigung jeder Torſion eine Zeit lang frei ſchweben laſſe, und den Faden

alsdann denjenigen geringſten Grad der Torſion gebe, welcher den Wagebalken an die Flächen des Kreuzes anlegt.

Man erkennt übrigens leicht, daß dieſes Elektrometer im Weſentlichen dieſelbe Einrichtung wie das ſchon früher bekannte Dellmann'ſche hat, das wir im Art. Elektrometer beſchrieben haben.

Auf der Außenfläche des Glascylinders K iſt eine Kreistheilung eingeätzt. Erhält nun das Kreuz durch io Elektricität, ſo theilt ſich dieſe dem Wagebalken zum Theil mit, und es erfolgt eine Abſtoßung deſſelben, deren Betrag man vermittelſt der Kreistheilung beſtimmen kann.

Auf demſelben Holzkäſtchen iſt weiter bei N ein gewöhnliches Goldblattelektrometer zur Beobachtung der + oder — Elektricität angebracht. Im Innern des Käſtchens liegt die Zamboniſche Säule Z. An die mit den Polen der Säule metalliſch verbundenen Faſſungen w und x ſind die leitenden und bei q q den Deckel des Käſtchens iſolirt durchbrechenden Kupferſtreifen w q u und x q v angelöthet und s t iſt das Goldblättchen, welches bei s mit dem Träger s r verbunden iſt. N iſt der die Vorrichtung ſchützende Glascylinder. Die Verbindung des Zuleitungsdrahtes mit dieſer elektrometriſchen Vorrichtung zeigt die Figur. n iſt der in der Fig. S. 687 herabgehende Leiter b a. Derſelbe iſt unten bei k mit einer auf den von dem Elektrometer K ſeitwärts laufenden und bei i aufſteigenden Zuleitungsdraht, in vollkommener metalliſcher Berührung paſſenden Kupferhülſe verſehen. Bei o (oben) iſt eine Seitenleitung angelöthet, welche eben ſo bei p in eine gleiche Kupferhülſe des Trägers s r eingefügt wird. Dieſe Verbindung bildet einen vollkommenen Schluß und iſt leicht aus einander zu nehmen.

Mit den angegebenen Vorrichtungen kann man ſich überzeugen, daß die Atmoſphäre faſt ſtets in einem gewiſſen Grade elektriſch iſt. Sie beſitzt bei völlig heiterem Himmel ſtets poſitive Elektricität, in allen Jahreszeiten und zu allen Tageszeiten, während bei wäſſerigen Niederſchlägen auch häufig negative Elektricität auftritt.

Sauſſure beobachtete, daß im Winter bei heiterem Wetter die Elektricität von der Zeit an, wo der Thau zu fallen aufgehört hat, bis zum Aufgange der Sonne am ſchwächſten ſei, hierauf allmälig wieder zunehme und früher oder ſpäter, faſt immer aber vor Mittag, ein Maximum erlange, nachher aber wieder ſchwächer werde. Erſt dann, wenn der Thau zu fallen beginnt, erhebt ſie ſich wieder, erreicht hier oft eine Stärke, welche weit größer iſt, als die, welche ſie am Tage gehabt hatte, und nimmt nun bis tief in die Nacht hinein wieder ab. Im Sommer ſind dieſe Perioden weniger deutlich zu erkennen; nur dann, wenn auf regneriſche Tage einige heitere folgen, ſind die Perioden im Sommer eben ſo wie im Winter.

Schübler ſtellte ſeine Beobachtungen über die täglichen Schwankungen der Luftelektricität (bezüglich ihrer Stärke) in den Thälern des ſüdlichen Deutſchlands bei heiterem ruhigem Wetter an, und kam zu folgenden Reſultaten.

Bei Sonnenaufgang iſt die atmoſphäriſche Elektricität ſchwach; ſie fängt langſam zu ſteigen an, wenn ſich die Sonne mehr über dem Horizont erhebt, während ſich gewöhnlich gleichzeitig die in den tieferen Luftſchichten entſtehenden Dünſte vermehren. Gewöhnlich ſteigt die Elektricität unter dieſen Umſtänden einige Stunden, an den längeren Sommertagen bis gegen 6 oder 7 Uhr, im Frühling oder Herbſt oft bis gegen 8 und 9 Uhr, im Winter bis gegen 10 und 11 Uhr. Nach und

nach erreicht ſie ihr Maximum. Gleichzeitig ſind die unteren Luftſchichten oft ſehr dunſtig, die Luft nimmt an Feuchtigkeit zu, und die Temperatur des Thaupunktes liegt höher als beim Sonnenaufgange, in der kälteren Jahreszeit tritt aber wirkl cher Nebel ein. Gewöhnlich bleibt die Elektricität nur kurze Zeit auf dieſem Maximum ſtehen, ſie vermindert ſich wieder, anfangs ſchneller, dann aber langſam, meiſt ſchneller als ſie zuvor ſtieg. Gleichzeitig vermindern ſich die dem Auge ſichtbaren Dünſte in den unteren Luftſchichten; hatten ſich Nebel gebildet, ſo verziehen ſich dieſe, die Atmoſphäre wird heiterer, auch entfernte Gegenſtände werden dem Auge ſichtbar. Gegen 2 Uhr Nachmittags iſt die atmoſphäriſche Elektricität gewöhnlich ſchon ſehr ſchwach, oft nur wenig ſtärker als in der Frühe kurz nach Sonnenaufgang; ſie vermindert ſich nun noch langſamer bis einige Stunden vor Sonnenuntergang, im Sommer bis gegen 4 bis 5 und 6 Uhr, im Winter bis gegen 3 Uhr; ſie bleibt verhältnißmäßig länger auf ihrem Minimum als auf ihrem Maximum. Sobald ſich die Sonne dem Horizonte nähert, fängt ſie wieder zu ſteigen an, mit Untergang der Sonne nimmt ſie gewöhnlich ſehr merklich zu, ſteigt nun mit Eintritt der Abenddämmerung immer mehr, und ſteht gewöhnlich $1^1/_2$ bis 2 Stunden nach Sonnenuntergang auf ihrem zweiten Maximum. Gleichzeitig bilden ſich aufs neue Dünſte in den unteren (und wohl auch höheren) Schichten der Atmoſphäre; über Thälern, vorzüglich über Städten bilden ſich oft große Dunſtwolken; die Feuchtigkeit der Luft nimmt ſchnell zu, es fällt der Abendthau, wobei in Thälern oft eine ſehr bemerkbare Abkühlung eintritt. Insgemein iſt die Elektricität während ihres zweiten Maximums wieder ungefähr ſo ſtark, wie einige Stunden nach Sonnenaufgang. Auch auf dieſem zweiten Maximum bleibt ſie nur kurze Zeit ſtehen, ſie wird bald wieder ſchwächer und vermindert ſich die Nacht hindurch langſam bis gegen Sonnenaufgang, wo ſie mit Tagesanbruch dieſelbe Periode wieder beginnt.

Man erkennt, daß zwiſchen dem Grade des poſitiv elektriſchen Zuſtandes der Luft und der relativen Feuchtigkeit derſelben ein gewiſſer Zuſammenhang ſtattfindet. Je feuchter die Atmoſphäre bei ſonſt heiterer Witterung iſt, deſto bemerklicher macht ſich ihre poſitive Elektricität. Die letztere iſt im Winter bei gleicher Heiterkeit des Himmels größer als im Sommer.

Romas, welcher Beobachtungen mit dem elektriſchen Drachen anſtellte, machte die Wahrnehmung, daß die Spannung des Elektrometers bei heiterem Wetter um ſo bedeutender wurde, je höher ſein Drache ſtieg, und zog hieraus den Schluß, daß die Stärke der poſitiven Elektricität der Luft mit der Entfernung von der Oberfläche der Erde zunehme. Durch die Annäherung einzelner kleiner weißer Wolken wurde aber eine Schwächung bewirkt. Auch Beccaria und Cavallo fanden die poſitive Elektricität der Atmoſphäre mit wachſender Höhe zunehmend. Daſſelbe bemerkte Sauſſure*) beim Beſteigen der Alpen. Zur Ermittelung der poſitiven Elektricität der höheren Luftſchichten gebrauchte Sauſſure eine durch einen 50 bis 60 Fuß langen Draht am Elektrometer befeſtigte Bleikugel, welche in die Höhe geſchleudert wurde. Becquerel**) und Breſchet benutzten zu demſelben Zwecke einen langen, feinen Goldlahnfaden, der an dem einen Ende

*) Reiſe durch die Alpen. Th. III. S. 253. 304. Th. IV. S. 374.
**) Traite de l'Elect. et du Magn. T. IV. p. 110.

mit dem Elektrometer, an dem anderen mit einem Pfeile verbunden war. Der letztere wurde vermittelst eines Bogens abgeschossen, und es zeigte sich nun eine um so stärkere positive Elektricität, je höher der Pfeil sich über der Erde erhob. Daß die Reibung des Pfeiles an den Lufttheilchen nicht die Ursache dieser Elektricität war, ergab sich daraus, daß keine Anzeige derselben stattfand, wenn der Pfeil in einer Höhe von etwa 3 Fuß horizontal über der Erde abgeschossen wurde.

Biot*) und Gay-Lussac hatten bei ihrer Luftreise an dem einen Ende ihrer Gondel einen Metalldraht von 50 Meter Länge aufgehängt, so daß er frei herabhing und durch das Gewicht einer Metallkugel gespannt war. Die am oberen Ende dieses Drahtes angesammelte Elektricität erwies sich am Elektrometer (bei vollkommen heiterer Witterung) als negativ. Das obere Ende war nämlich dem vertheilenden Einfluß der höheren positiv elektrischen Luftschichten ausgesetzt, und mußte in Folge dessen negativ elektrisch werden. Das untere Ende des Drahtes, in sofern es in die Luft hineinragt, erleidet von den unter ihm befindlichen Luftschichten denselben Einfluß, nur in geringerem Grade, so daß an dem oberen Ende jedenfalls ein Ueberschuß an negativer Elektricität auftreten muß. Die von Biot und Gay-Lussac gemachten Wahrnehmungen bestätigen die Zunahme der positiven Elektricität in den oberen Theilen der Atmosphäre.

Schübler**) bemerkte auf einer Reise durch die schweizerischen Alpen ebenfalls die Zunahme der positiven Elektricität mit wachsender Höhe, und zwar um so bedeutender, je weiter man sich von ableitenden Umgebungen, Wäldern, benachbarten Abhängen, Häusern ꝛc. befand.

Gersdorf fand die Elektricität der Luft bei Südstürmen mitunter sehr stark negativ elektrisch, selbst wenn der Himmel dabei hell war. Nach Grosse soll es einen Zustand der Atmosphäre geben, bei welchem die Luft sich am wenigsten elektrisch zeige. Dieser Zustand, der zuweilen bei Nordostwind eintrete, werde für sehr ungesund gehalten, und lasse sich an einem Gefühl von Kälte und Trockenheit erkennen, welches er hervorbringe.

Beccaria, Romayne, Henley, Volta und später auch Sauſſure, Schübler, Grosse und Gersdorf beobachteten bei Nebeln eine starke positive Elektricität der Luft. Dieselbe ist nach Schübler am stärksten in den kalten Jahreszeiten, wo die Nebel niedriger stehen und dichter sind, als im Sommer. Je dichter der Nebel ist, desto stärker erscheint die Elektricität. Wenn aber aus den Nebeln Regen herabfiel, hat man auch negative Elektricität beobachtet. Aehnliches wurde bei Wolken beobachtet. Schübler kam bei einer Reise durch die Schweizer Alpen öfter in die Wolkenregion, wo er die Elektricität gewöhnlich positiv fand, negativ dagegen, wenn die Wolken zugleich Regen brachten. Die von Sauſſure und Schübler beobachtete starke positive Elektricität bei Nebeln wird von Kämtz***) bezweifelt.

Beim Regen beobachtet man ebenfalls fast stets Elektricität, aber sie ist der Art nach sehr verschieden, viel öfter, wie es scheint, jedoch negativ als positiv.

*) Lehrbuch der Experimentalphysik, übers. von Fechner. Th. II. S. 291.
**) Schweigger's Journ. Bd. IX. S. 343.
***) Vorlesungen über Meteorologie. S. 400.

Digitized by Google

Nach Volta ist hierbei der Verlauf der Erscheinungen folgender. Näherten sich die Wolken, so zeigte sich starke positive Elektricität; fielen die ersten Tropfen, so wurde diese schwächer, verschwand endlich und ging darauf in negative Elektricität über, die in wenigen Minuten sehr stark wurde. So dauerte es eine halbe oder ganze Stunde fort. Regnete es aber mehrere Stunden oder ganze Tage hindurch, so wurde auch die negative Elektricität sehr schwach. Nur wenn der Regen etwa auf kurze Zeit zunahm, wurde sie stärker, ging aber in die positive Elektricität über, wenn der Regen auf einige Zeit aufhörte. Nach Foggo ist der Gang bei Regenschauern in England etwas verschieden. So lange nämlich die Wolke in einiger Entfernung von der Stange ist, an welcher die Elektricität beobachtet wird, hat die Luft gewöhnlich positive Elektricität; steht einmal der vorangehende Theil der Wolke über dem Leiter, so verliert sich die Elektricität und wird dann sogar negativ. Dieser Zustand dauert nur eine kleine Weile, geht in den positiv elektrischen über, welcher anhält, bis die Wolke vorüber gegangen ist, wo wieder negative Elektricität hervortritt, die dann durch die positive Elektricität der Atmosphäre verdrängt wird.

Nach Schübler kommt bei Niederschlägen in der Atmosphäre etwa $1^1/_2$ mal so viel negative als positive Elektricität vor. Nach demselben ist auch die Richtung des Windes *) von Einfluß auf die Art der Elektricität. Am häufigsten sollen die Regen positiv elektrisch bei Nordwinden, am häufigsten negativ elektrisch bei Südwinden sein, und zwischen beiden ein allmäliger Uebergang stattfinden. Die Abwechselungen positiver und negativer Elektricität hängen sonst (nach ihm) vorzüglich von Abwechselungen in der Stärke und zum Theil der Aggregation der Niederschläge selbst ab. Die einzelnen Regen zeigen sich gewöhnlich desto stärker elektrisch, je dichter sie sind, oder überhaupt je schneller und je mehr Wasser in derselben Zeit aus Dunstbläschen in die tropfbare Form übergeht.

Grosse fand bei Nebel, Regen, Schnee, Hagel und Graupeln den elektrischen Zustand des von ihm beobachteten Drahtes gewöhnlich negativ, wenn diese Niederschläge anfingen zu erscheinen; hierauf wurde er häufig positiv mit allmäliger Zunahme und Wiederabnahme und mit Uebergang in den entgegengesetzten Zustand alle 3 oder 4 Minuten, und diese Erscheinungen fand er so constant, daß man jedesmal, wenn der Draht negativ elektrisch war, dies als ein sicheres Zeichen ansehen konnte, daß Regen, Schnee, Hagel oder dergleichen in der Nähe des Apparates seien, oder daß eine elektrische Wolke nicht weit von demselben entfernt sei. Dabei fand Grosse die Elektricität während des Regens gewöhnlich negativ.

Schübler **) hat den Einfluß des Gewitters auf den Gang seines Luftelektrometers in zwei besonderen Fällen graphisch zur Darstellung gebracht. Das eine Gewitter zog seitwärts, das andere gerade über dem Zenith vorüber. Nachdem die Elektricität den Tag über schwach positiv gewesen war, fing es gegen 6 Uhr Abends zu regnen an. Die Elektricität des Regens war anhaltend negativ. Gegen 7 Uhr hörte der Regen auf, aber es bedeckten finstere Wolken den Himmel, und am südwestlichen Horizont stieg ein Gewitter auf. Die Elektricität zeigte sich

*) Schweigg. Journ. Bd. LI. S. 240.
**) Schweigg. Journ. Bd. XI. S. 378.

noch immer negativ, veränderte ſich aber mit jedem Blitze plötzlich; die Pendel des Elektrometers näherten ſich dem Nullpunkte, gingen jedoch nach jedem Blitze mit negativer Elektricität wieder aus einander. Die letztere veränderte ſich mit Annäherung des Gewitters mehr und mehr, und wurde um 7 Uhr bei einem Blitze plötzlich null und ſchwach poſitiv. Nach dem Blitze wurde ſie aber wieder etwas negativ, um 7 Uhr 18′ ging ſie ganz ins Poſitive über und erreichte ihr Maximum bei der größten Annäherung des Gewitters, nahm hierauf eben ſo wieder ab und ging zuletzt wieder in die negative über, als es beim Abzuge des Gewitters zu regnen anfing. Als es nach einer halben Stunde zu regnen aufhörte, ging die Luftelektricität wieder langſam in die poſitive über. In dem zweiten Falle, wo die Luftelektricität wie gewöhnlich von Anfang an poſitiv war, ging dieſelbe unter heftigem Blitze und bald darauf folgendem Donner plötzlich in die negative von beinahe gleicher Stärke über. Zugleich kam ein ſtarker Regenguß. Von dieſem Augenblicke an zeigte ſich eine entgegengeſetzte Ordnung im Steigen und Fallen des Elektrometers. Mit jedem Blitze nahm nun die negative Elektricität zu, wie im vorigen Falle die poſitive zugenommen hatte. Das Gewitter entfernte ſich und damit verminderte ſich auch wieder die negative Elektricität; es regnete dabei anhaltend. Nun wurde die Elektricität aufs neue poſitiv, es erfolgte der letzte Blitz mit + E, worauf plötzlich ein negativ elektriſcher Regen fiel, welcher nach einigen Abwechſelungen wieder aufhörte. Obgleich nun die negative Elektricität wieder abnahm, ſo blieb dieſelbe doch nach aufhörendem Regen längere Zeit, und erſt nach einer halben Stunde trat die gewöhnliche poſitive Elektricität wieder langſam ein.

Andere Beobachter bemerkten bei dem Vorübergehen eines Gewitters anfangs poſitive Elektricität, die aber beim Falle der erſten Regentropfen in die negative überging. Dieſe Elektricität zeigte ſich namentlich ſtark bei Platz- und Gewitterregen, viel weniger ſtark bei Landregen, die auch öfter mit poſitiver Elektricität auftreten. Ed. Beeck *) beobachtete in Halle vom Juni bis Decbr. 1852 mehrere Mal, daß ſobald Oſtwind bei ſtarkem Wind in Südoſt oder Südwind ſchnell überging und dadurch der vorher klare Himmel bald mit Wolken bedeckt erſchien, die Luftelektricität, welche zuvor poſitiv war, in negative überging.

An der Münchener Sternwarte wurden Beobachtungen der Luftelektricität vom 1. Mai 1850 bis Ende October 1851 angeſtellt, die Lamont **) bekannt gemacht hat. Das dabei gebrauchte Elektrometer iſt von dieſem ſelbſt conſtruirt, und hat einige Aehnlichkeit mit dem Oerſted'ſchen (ſ. d. Art. Elektrometer). An einem metallenen Träger, der mit einem Coconfaden verbunden iſt, hängt eine horizontale Kupfernadel und ein kleiner Magnet. Der Coconfaden iſt oben innerhalb einer Metallröhre befeſtigt, die unten, wo ſie in dem Deckel des Elektrometers iſolirt befeſtigt iſt, einen viereckigen Bügel aus Kupfer trägt, deſſen horizontale Weite etwas größer iſt als die Länge der Kupfernadel. Das Elektrometer wird ſo aufgeſtellt, daß der Bügel in die Ebene des magnetiſchen Meridians kommt. Die Kupfernadel wird dann durch den kleinen Magneten in der Ebene des Bügels gehalten, ſo lange keine elektriſche Spannung vorhanden iſt. Kommt aber Elektri-

*) Zeitſchrift für die geſ. Naturw. vom natur. Ver. in Halle 1853. April. Nr. IV. S. 272.

**) Pogg. Ann. Bd. LXXXV. S. 494.

cität in das erwähnte Metallrohr, welches in die Luft hineinragt, so theilt sie sich dem Bügel und der Nadel mit, und es erfolgt zwischen diesen beiden eine Abstoßung. Die Nadel weicht seitwärts aus, und macht einen Winkel mit der Ebene des Bügels, der als Maß der elektrischen Spannung dient. Unter dem Bügel befindet sich eine Glastafel, worauf eine Kreistheilung verzeichnet ist. Das Elektrometer wird behufs der Ablesung auf ein feststehendes Kästchen gestellt, in welchem ein Spiegel unter einem Winkel von 45° gegen den Horizont, und seitwärts eine Linse angebracht ist von solcher Brennweite, daß man damit im Spiegel ein deutliches Bild der Kreistheilung erhält, und auf dieser Kreistheilung den darüber befindlichen horizontalen Bügeltheil und die Kupfernadel projicirt sieht. (Eine Abbildung dieses Instrumentes befindet sich an dem citirten Orte.) Die elektrische Spannung ist sehr nahe dem Ablenkungswinkel φ der Kupfernadel proportional, so daß man annehmen kann Spannung $\eta = \varphi + F(\varphi)$, wo $F(\varphi)$ eine kleine vom Winkel φ abhängige Correction bedeutet. Um die Excentricität zu eliminiren, müssen beide Enden der Nadel notirt werden, das Mittel gilt als eigentliche Ablesung des Instrumentes. — Die Beobachtungsresultate enthält folgende Tabelle, welche die Spannungen der Luftelektricität zu den bemerkten Zeiten angiebt. Dieselben zeigen, wie man wahrnehmen wird, im Allgemeinen eine merkliche Uebereinstimmung mit den Angaben Schübler's über die Veränderungen der positiven Luftelektricität während des Tages (S. 691 ff.), namentlich auch in Hinsicht auf den ungefähren Eintritt des Maximum und Minimum am Tage.

	Morgens						Abends						
	7h	8h	9h	10h	11h	12h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	Monat-Mittel
1850													
Mai	4,62	4,27	3,94	3,98	3,34	3,08	2,87	3,31	3,12	3,39	3,35	2,96	3,52
Juni	3,35	3,08	3,08	3,56	2,62	2,80	2,66	2,78	2,71	2,86	2,65	2,53	2,89
Juli	3,71	4,00	3,97	3,56	3,80	3,28	2,58	2,90	2,81	3,27	2,44	2,50	3,23
August	4,08	3,79	4,10	3,75	3,95	3,72	3,48	3,51	3,14	3,09	3,21	3,40	3,60
September	3,96	3,63	3,81	3,49	3,25	3,23	2,97	3,10	2,79	2,89	2,62	2,54	3,19
October	5,07	5,63	5,90	6,26	5,93	4,88	4,80	4,20	5,38	5,06	3,22	—	5,12
November	—	5,88	5,83	5,56	5,66	5,51	4,83	4,94	5,10	5,50	—	—	5,42
December	—	6,87	6,01	6,73	7,54	7,20	6,84	6,98	6,71	6,48	—	—	6,82
1851													
Januar	—	5,56	6,60	6,29	6,85	6,34	5,50	5,72	5,41	5,51	—	—	5,98
Februar	—	6,47	6,65	6,26	6,43	5,98	6,10	5,76	5,68	5,24	—	—	6,06
März	5,29	6,90	7,39	5,70	5,30	5,18	5,40	4,96	5,13	4,79	5,04	4,72	5,49
April	3,89	4,71	3,93	3,69	3,24	3,04	3,02	3,11	3,05	3,19	3,37	3,31	3,46
Mai	4,09	3,50	3,53	2,80	2,56	2,56	3,20	2,80	2,86	3,19	2,73	3,06	3,07
Juni	3,48	3,13	3,27	3,04	2,91	3,11	2,66	3,14	2,83	3,20	3,60	2,93	3,11
Juli	3,99	3,58	3,30	3,17	3,50	3,13	3,60	3,09	3,14	3,61	2,72	2,84	3,31
August	5,66	3,90	3,01	2,99	3,14	3,03	2,70	2,96	3,05	2,80	2,74	2,44	3,20
September	3,44	3,41	4,01	4,04	3,19	2,83	3,05	2,87	2,93	3,13	3,55	4,01	3,37
October	3,98	4,76	4,49	3,20	3,54	3,59	3,14	3,07	3,68	3,29	3,39	—	3,65

Die Beobachtungen Dellmann's *) in Kreuznach umfassen zwar keinen sehr langen Zeitraum, verdienen aber wegen der Güte der gebrauchten Vorrichtung,

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 625. Vergl. auch Bd. LXXXVI. S. 524. 536.

namentlich des Elektrometers, und auch sonst volles Zutrauen. Dieselben lehren, in Uebereinstimmung mit den bisherigen Erfahrungen, daß die Luft bei heiterem Wetter fast immer positiv elektrisch ist, dagegen bei Regen, namentlich im Anfange desselben, stark negativ elektrisch. Bei Annäherung eines Gewitters erhielt er, selbst wenn es noch ziemlich fern war, so daß die Wolken desselben noch lange nicht über der Beobachtungsstelle schwebten, die Anzeige negativer Elektricität. Auch die Regentropfen selbst erschienen beim Anfange eines Regens meist negativ elektrisch. Dellmann fand auch Gelegenheit, die Luftelektricität während eines Höhenrauches zu beobachten (s. Art. Höhenrauch Bd. III. S. 854).

Dellmann's Beobachtungen führten rücksichtlich der einzelnen Monate zu folgenden numerischen Werthen.

Monat	Morgens	Nachmittags	Abends	Mittel
Januar . . .	109,3	242,4	156,9	169,5
Februar . . .	113,5	151,0	156,7	140,4
März	127,2	162,2	162,3	150,6
April	137,2	140,3	107,7	128,4
Mai	160,7	79,7	101,8	114,1
Juni	140,2	94,2	122,9	119,1
Juli	135,9	105,0	115,3	118,7
August	161,6	127,6	158,6	149,3
September . . .	173,2	142,7	146,4	154,1
October . . .	150,4	169,0	169,8	163,1
November . . .	229,8	217,8	230,9	226,2
December . . .	186,6	278,1	220,8	229,2
Mittel	152,3	159,2	154,2	155,2

Wir wollen nun hier noch die bereits citirten Versuche von Erman anführen. Derselbe gebrauchte dabei gewöhnlich ein Blattgoldelektrometer von Weiß, angefertigt nach einer Anleitung von Gersdorf. Die Länge der Goldblättchen beträgt etwa 0,5 Par. Zoll, und der Glascylinder, der sie umgiebt, hat 0,75 Zoll Durchmesser und 1,5 Zoll Höhe. In den abgerundeten elfenbeinernen Deckel, der über dem Cylinder seitwärts nicht vorspringt, ist eine Glasröhre eingekittet, durch welche das Metallstück geht, das an seinem unteren Theile die Goldblättchen trägt und nach oben eine hervorragende Schraubenmutter hat, in welche sich die verschiedenen metallenen Spitzen, welche man dem Elektrometer unter Umständen geben will, einschrauben lassen. Ein solches Elektrometer mit einer Spitze von etwa 3 bis 4 Fuß Länge zeigt, wenn es im freien Felde plötzlich erhöht wird, eine starke Divergenz der Goldblättchen, welche von positiver Elektricität herrührt. Wird es aber dem Boden genähert, so divergirt es mit negativer Elektricität. Eine Bewegung in horizontaler Richtung in einer gewissen Entfernung über dem Boden giebt keine Spur von Elektricität, falls der Boden durchweg eben ist; steigt oder fällt aber der Boden, so giebt das Elektrometer eine sehr merkliche positive Divergenz, wenn es bergan geht, dagegen eine negative, wenn man sich abwärts

bewegt. Schraubt man auf die Spitze des Elektrometers eine Kugel auf, so wird dadurch die augenblickliche Erscheinung der Divergenz beim Auf- und Abwärtsbewegen nicht verhindert, was auch dann nicht geschah, wenn Erman den ganzen Leitungsdraht in eine oben zugeschmolzene Glasröhre steckte. Die positiven und negativen Divergenzen zeigten sich in diesem Falle eben so schnell und stark, als wenn die Spitze des Drahtes in freier Berührung mit der Luft war, so daß also diese Erscheinungen hier nicht von einem Einsaugen der Elektricität aus der umgebenden Luft herrühren können. — An einem feststehenden, längeren durch eine Glasstange isolirten Drahte konnte Erman keine Spur von Luftelektricität wahrnehmen. — Vor dem jedesmaligen Hinauf- oder Hinabbewegen des Elektrometers kann man die gerade vorhandene Divergenz durch ableitende Berührung entfernen, die beschriebenen Erscheinungen bleiben jedoch nicht aus, wenn man auch das Elektrometer vorher nicht mit dem Boden (einen Augenblick) in leitende Verbindung gesetzt hat; die Divergenzen sind nur in diesem Falle etwas schwächer. Erman brachte das Elektrometer auf einem freien und ebenen Felde, auf welchem ein einzelner Baum stand, dem letzteren allmälig in horizontaler Richtung näher. Es stellte sich eine negative Divergenz ein, die mit fortschreitender Annäherung an den Baum zunahm, und mitunter ein Anschlagen der Goldblättchen bewirkte, in dem Augenblick, wo er unter den Baum trat. Diese negative Divergenz blieb auch unverändert dieselbe, so lange das Elektrometer in der Nähe des Baumes blieb. Sobald er sich vom Baume entfernte, wurde die Divergenz geringer und verschwand allmälig ganz. Wenn man das Elektrometer unter dem Baume ableitend berührte und sich dann von diesem entfernte, so entstand eine neue Divergenz, aber die entgegengesetzte, durch positive Elektricität bewirkte. Ein Baum, ein Haus, überhaupt jeder aus dem Erdboden sich erhebende Gegenstand kann als eine Verlängerung des Bodens angesehen werden. Nähert man sich einem Hause, so divergirt das Elektrometer ebenfalls negativ, unter einem Dache dagegen, wo man gewissermaßen Boden über und unter sich hat, verräth sich keine Spur von Elektricität. Wenn über das Zenith des Beobachters eine Wolke zieht, oder wenn Regen, Schnee oder Hagel auf den Ort der Beobachtung fällt, so werden Erscheinungen beobachtet, die den oben betrachteten entgegengesetzt sind. Das Elektrometer divergirt positiv, wenn man es dem Boden nähert, dagegen mit negativer Elektricität, wenn es in die Höhe gehoben wird. Man sieht also, daß Wolken, Schnee, Regen ꝛc. eben so wirken wie ein Baum oder der Boden. Auf Grund aller dieser Erscheinungen, welche Erman als bloße elektrische Vertheilungsphänomene anerkennt, was sie auch ohne Zweifel sind, glaubte derselbe einen eigenthümlichen elektrischen Zustand der Atmosphäre bezweifeln zu können. Die vertheilende Wirkung soll nach ihm vorzugsweise vom Erdboden ausgehen; die speciellere Art und Weise aber, wie jene Erscheinungen durch Vertheilung bewirkt werden, hat er nicht charakterisirt. Bei genauerer Betrachtung weisen gerade seine Versuche auf einen positiv elektrischen Zustand der Atmosphäre hin, der mit wachsender Höhe zunimmt. Von diesem Zustande rührt der vertheilende Einfluß und in Folge dessen auch die positive Divergenz des Elektrometers her, wenn dieses erhoben wird. Es scheinen aber diese Versuche noch mehr anzudeuten, nämlich dies, daß der Boden sich in einem anderen elektrischen Zustande als die Luft befindet, und zwar in dem Zustande sogenannter negativer Elektricität. Wir werden hierauf wieder zurückkommen.

Es waren Volta und Sauſſure, welche die Verdampfung des Waſſers als die Hauptquelle der poſitiven Luftelektricität anſahen. Die Waſſerdämpfe ſollten im Acte ihrer Bildung poſitive Elektricität annehmen und fortführen, die Flüſſigkeit dagegen im negativ elektriſchen Zuſtande zurückbleiben. Später fand Pouillet, daß chemiſch reines Waſſer aus einem Platingefäße verdampft keine Elektricität mit ſich fortführt, nur wenn das Waſſer, ſelbſt in geringen Mengen, Säure, Alkali oder ein Salz aufgelöſt enthält, ſo zeigt der Dampf aus den ſauren und ſalzigen Löſungen poſitive, aus den Löſungen der fixen Alkalien negative Elektricität. Da nun das Meerwaſſer reichlich Salzlöſungen enthält, ſo vermuthete man hier eine reiche Quelle für die poſitive Elektricität der Atmoſphäre. Verſuche von Armſtrong, Faraday, Reich und Rieß (ſ. d. Art. Elektricität) haben indeß dargethan, daß die beim Verdampfungsproceſſe vorkommenden Elektricitätserſcheinungen ihre Urſache nicht in ihm ſelbſt, ſondern vielmehr in der Reibung der von dem Dampfe fortgeriſſenen Waſſertheilchen an den Gefäßwänden haben. Dies lehren auch die Erſcheinungen an der Hydroelektriſirmaſchine (ſ. d. Art.). Nach Pouillet ſollte die Elektricitätsentwickelung bei der Verdampfung jener Löſungen von dem Ausſcheiden der Waſſertheilchen aus der Verbindung mit den im Waſſer gelöſten Stoffen herrühren. Aus Verſuchen, welche Gaugain *) über die Elektricität, die in gewiſſen Fällen bei der Verdampfung von Salzlöſungen auftritt, angeſtellt hat, folgt ebenfalls, daß man die atmoſphäriſche Elektricität nicht chemiſchen Urſachen zuſchreiben darf, die bei der ruhigen Verdampfung des Meerwaſſers vor ſich gehen ſollen; auch nach ihm läßt ſich die hier beobachtete Elektricität auf eine Reibung der Waſſertheilchen zurückführen. Deſſenungeachtet weiß man, daß die Dampfbildung auch ohne Mitwirkung der Reibung von einer Elektricitätsentwickelung begleitet ſein kann. Hierüber hat Buff **) Verſuche angeſtellt, die allerdings auch zu dem Reſultate führen, daß der Proceß der Verdampfung an ſich keine bemerkbare Elektricitätserregung zur Folge hat. Dagegen kann der Dampf die Elektricität, welche die Flüſſigkeit aus irgend einer anderen Elektricitätsquelle erhalten, annehmen und auch einem condenſirenden Elektroſkope mittheilen. So werden bekanntlich Waſſer und verſchiedene andere Flüſſigkeiten in Berührung mit Metallen elektriſch erregt. Deshalb können auch die Dämpfe des Waſſers, wenn dieſes aus einer Metallſchale verdampft, die aus dem Contact hervorgegangene Elektricität der Flüſſigkeit mit ſich fortführen.

Bei Buff's Verſuchen befand ſich nun die zu verdampfende Flüſſigkeit in einem Glaskolben, der auf einem Metallgewebe über der Flamme einer Spirituslampe ſtand. Ein durch eine Glashülle von den aufſteigenden Dämpfen iſolirter Metalldraht tauchte in die Flüſſigkeit, während ein iſolirter Platinſtreifen unmittelbar von den aus dem Gefäße tretenden Dämpfen getroffen wurde. Beide Metalle ſtanden gewöhnlich mit den Platten eines Condenſators in Verbindung; es konnte aber auch das eine oder andere Metall zur Erde abgeleitet werden.

Wenn man nun beiſpielsweiſe einen Zinkdraht ins Waſſer taucht, ſo wird jener negativ, dieſes poſitiv elektriſch, und wenn man die negative Elektricität des Zinks gehörig ableitet, ſo überträgt ſich der poſitiv elektriſche Zuſtand des Waſſers ver-

*) L'Inst. No. 1066. p. 194.
**) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXXIX. S. 203.

mittelſt der Dämpfe auf den Condenſator. Um ſich zu überzeugen, daß aus dem Waſſer, wenn es mit einem Metall in Berührung iſt, ſelbſt bei gewöhnlicher Temperatur Elektricität entweicht, verbinde man die untere Kupferplatte eines Condenſators durch einen daran befeſtigten Kupferdraht leitend mit der Erde, und breite auf der freien Oberfläche der oberen Condenſatorplatte, welche aus Zink beſteht und auf der Seite eine Handhabe hat, mittelſt Löſchpapier eine Lage Waſſer aus. Nach etwa einer Stunde wird man eine ſchwache negativ elektriſche Ladung der Zinkplatte wahrnehmen. Dieſe Elektricität beruht alſo auf einer Contactwirkung und der Dampf bildet nur einen Ableiter derſelben. Steht das Waſſer nicht mit Körpern in Berührung, durch welche es fortdauernd elektriſch erregt werden kann, ſo können auch ſeine Dämpfe nicht elektriſch werden. Hiernach wird durch die in freien Gewäſſern ſtattfindende Verdunſtung keine poſitive Elektricität der Luft zugeführt. Wahrſcheinlicher iſt es dagegen, daß die Gewäſſer negative Elektricität vermittelſt der Dämpfe in der Atmoſphäre verbreiten, weil ſie als beſſere Leiter von der negativen Elektricität aufnehmen, welche auf Grund verſchiedener Veranlaſſungen in der Erde vorhanden iſt.

Nach unſerer Theorie der elektriſchen Erſcheinungen (Art. Elektricität) giebt es ein Fluidum (Elektricum), deſſen Elemente um die Maſſentheilchen aller Körper gruppirt ſind, ſo daß ſie dieſelben ſphärenartig einhüllen. Jeder Körper kann auf dieſe Weiſe eine gewiſſe Quantität von Elektricum enthalten und ſich dabei in einem Zuſtande befinden, in welchem zwiſchen den elektriſchen Elementen ein ſtabiles Gleichgewicht beſteht. Wird aber dieſe Quantität vermehrt oder vermindert, ſo wird auch das elektriſche Gleichgewicht geſtört. Im erſten Falle, wo das Elektricum im Körper angehäuft iſt, beſteht eine ſtärkere Spannung zwiſchen den elektriſchen Sphären der Maſſentheilchen oder eine ſtärkere Repulſion zwiſchen den elektriſchen Elementen ſelbſt, ſo daß ein Theil der letzteren nach außen ſtrebt, im zweiten Falle ſucht der Körper aus der Umgebung, deren elektriſchen Sphären nach ihm hindrängen (gleichſam wie die Luft der Atmoſphäre nach einem luftverdünnten Raume), ſo viel Elektricum aufzunehmen, als zur Wiederherſtellung ſeines gewöhnlichen Zuſtandes (d. h. des elektriſchen Gleichgewichtes) erforderlich iſt. Nun iſt nach ſchon angeſtellten Betrachtungen (Art. Elektricität, Galvanismus, Funke, elektriſcher) der ſogenannte poſitiv elektriſche Zuſtand derjenige Zuſtand eines Körpers, worin dieſer weniger Elektricum, und der ſogenannte negative derjenige Zuſtand, in welchem der Körper mehr Elektricum als im gewöhnlichen Zuſtande enthält. Es wird aber jeder Körper, der ein Aggregat mit einander verbundener Maſſentheilchen iſt, in ſeinem gewöhnlichen Zuſtande, falls das Elektricum irgend einmal in ihm angehäuft geweſen iſt, noch einen, wenn auch ſchwachen Reſt freien Elektricums zurückhalten, weil die Repulſion, um derentwillen das Elektricum den Körper verlaſſen muß, immer ſchwächer wird, je mehr der elektriſche Zuſtand des Körpers dem Gleichgewicht mit ſeiner Umgebung nahe kommt. So wird auch der Erdoberfläche und jedem auf ihr befindlichen Leiter eine elektriſche Schicht adhäriren, welche nach oben hin (gegen die elektriſchen Sphären der Lufttheilchen) einen Druck ausübt, der natürlich mit wachſender Höhe abnimmt. Die Atmoſphäre beſteht nun aus einzelnen, nicht chemiſch unter einander verbundenen Gastheilchen, um welche die Elemente des Elektricums ebenfalls in der Form von Sphären gruppirt ſind. Dieſe Gruppirung iſt bei der Luft, die unter gewöhnlichen Umſtänden ein Nichtleiter oder ſchlechter Leiter iſt,

beharrlicher als bei den guten Leitern der Elektricität (s. d. Art. Leiter der Elektricität), so daß auch die elektrischen Elemente weniger im Zustande der Repulsion gegen einander sind, und zwar um so weniger, je mehr man sich in der Atmosphäre erhebt, deren Temperatur, wie man weiß, von unten nach oben geringer wird. Wenn nun ein Elektricitätsleiter, z. B. eine zugespitzte Metallstange, welche sich in Hinsicht auf die unteren Schichten der Atmosphäre im elektrischen Gleichgewichtszustande befindet, hoch aufgerichtet wird, so ist dieses Gleichgewicht gestört, weil das Elektricum in den oberen, kälteren und dünneren Luftschichten mehr als in den unteren gebunden ist, so daß die Lufttheilchen dort auch mehr geneigt sind, neues Elektricum um sich zu gruppiren.

Die Metallstange wird deshalb veranlaßt, sich von einem Theil des ihr inwohnenden Elektricums zu befreien, und weil nun dieser Verlust sich fortsetzt bis zum Elektrometer, das mit der Stange in leitender Verbindung ist, so wird es eine sogenannte positive Divergenz anzeigen. Dasselbe würde aber auch dann geschehen, wenn das eigenthümliche Elektricum der Stange blos eine Verschiebung von unten nach oben hin erlitte, oder wenn nur eine Influenzwirkung zwischen ihr und den höheren Luftschichten stattfände. Indem das Elektricum der Stange sich nach der Spitze hinzieht, wird diese negativ, ihr unterer mit dem Elektrometer verbundener Theil positiv elektrisch. Die Capacität der Luft für neues Elektricum nimmt nun von Oben nach Unten hin ab, und daher auch ihr vertheilender Einfluß auf die Metallstange. Um daher mehr Einfluß auf die höher gelegenen Luftschichten zu gewinnen, dient die von der Metallspitze aufsteigende Rauchsäule, oder auch der Wasserdunst, durch welchen zwischen dem Elektrometer und diesen Luftschichten gewissermaßen eine leitende Verbindung hergestellt wird. Durch jene Rauchsäule wird jedenfalls die Influenzwirkung zwischen der Metallstange und den höheren Luftschichten gesteigert werden. Die Luft wirkt also aus dem angegebenen Grunde positiv elektrisch, und zwar um so mehr, je höher man sich in ihr erhebt.

Blicken wir nun hier zurück auf die (S. 695 ff.) beschriebenen Erman'schen Versuche, so erkennt man nach dem unmittelbar Vorhergehenden, daß ein mit einem zugespitzten Zuleitungsdraht versehenes Elektrometer, wenn es rasch in der Atmosphäre erhoben wird, positiv divergiren muß. Das rasche Erheben ist hier deshalb von Bedeutung, damit die durch wachsende Vertheilung negativ elektrisirte Spitze des Drahtes keine Zeit gewinnt, sich mit der Luftschicht, worin sie sich gerade befindet, auszugleichen. Beim Erheben des Elektrometers zieht sich das eigene Elektricum des Drahtes nach der Spitze hin, so daß der tiefere mit dem Elektrometer verbundene Theil des Drahtes positiv elektrisch wird. Verbindet man nun den Draht, nachdem seine Spitze eine gewisse Höhe erreicht hat, und während das Elektrometer positiv divergirt, mit der Erde, so nimmt derselbe von dieser so viel Elektricum an, als zur Ausgleichung mit der letzteren und zur Wiederherstellung des gewöhnlichen Zustandes in seinen unteren Theilen erforderlich ist. Damit verschwindet die positive Divergenz des Elektrometers, und wenn dasselbe jetzt, nach aufgehobener Verbindung mit der Erde, rasch abwärts bewegt wird, so wird die Spitze des Drahtes dem vertheilenden Einfluß der höheren Luftschichten entzogen; der Draht ist nun negativ elektrisirt, indem das von der Erde aufgenommene Elektricum in demselben frei wird. Das Elektrometer muß also negativ divergiren. Wenn aber ein wohl isolirtes Elektrometer (von der angegebenen Art)

auch ohne vorgängige leitende Verbindung mit der Erde, gegen die letztere herabbewegt, eine negative Divergenz zeigt, so scheint dies nur von einem vertheilenden Einflusse der Erde herrühren zu können. Die Erde muß dann im Gegensatze zu der atmosphärischen Luft negativ elektrisch sein, was wir als wahrscheinlich bereits hervorgehoben haben. Dasselbe gilt von jedem hervorragenden Leiter, der mit der Erde in Verbindung steht, z. B. von einem Baume. Aber auch eine Wolke müssen wir, falls sie in dem unter ihr befindlichen Elektrometer eine negative Divergenz veranlaßt, als negativ elektrisch betrachten.

Die positive Elektricität der Atmosphäre selbst ist nach der gegebenen Darstellung gewissermaßen ihr natürlich elektrischer Zustand, nämlich hinsichtlich der Erde, welche wir also in Bezug auf die höheren Luftschichten als negativ elektrisch ansehen können. Die (S. 689 ff.) beschriebenen täglichen Maxima und Minima der Luftelektricität haben wir aber nicht sowohl als Zeichen einer wirklichen Zu- und Abnahme derselben, als vielmehr als Hindeutungen auf solche Zustände der Atmosphäre zu betrachten, durch welche ihr an sich wenig veränderlicher positiv elektrischer Zustand mehr oder weniger Einfluß auf unsere Elektricitätsanzeiger gewinnt *).

Der negativ elektrische Zustand der Erde wurde schon früher von Peltier behauptet, und dieser glaubt denselben am größten bei heiterem Wetter gefunden zu haben. Auch nach Lamont **) besitzt die Erde eine gewisse Menge negativer Elektricität. Diese Menge bleibt sich immer gleich, die Vertheilung kann aber zu verschiedenen Zeiten sehr verschieden sein. Die Atmosphäre, d. h. die reine Luft, soll dagegen gar keine Elektricität haben; sie ist unfähig, die Elektricität zu leiten oder zu behalten. Die Gleichheit der negativ elektrischen Spannung an der Erdoberfläche wird durch zwei Umstände modificirt, durch die Erhöhungen und durch die Dünste, die in der Atmosphäre schweben. An jedem über die Ebene erhöhten Punkt ist eine mit der Erhöhung proportional zunehmende elektrische Spannung vorhanden. An Hausdächern, Kirchthürmen, Bergspitzen findet sich die Elektricität stets in größter Menge angehäuft. Was die Dunstmassen betrifft, so sind diese mit der Erde in Berührung, oder von ihr isolirt. Im ersten Falle tritt dasselbe Verhältniß ein, wie bei einem Berge; denjenigen Theil der Erdoberfläche, der mit der Dunstmasse in Berührung steht, verläßt die Elektricität gänzlich und begiebt sich auf die Oberfläche der Dunstmasse. Im zweiten Falle ist in Betracht zu ziehen, daß jeder Körper latente Elektricität in unbestimmten Mengen enthält, die bei Annäherung eines anderen elektrischen Körpers nach bekannten Gesetzen durch Vertheilung (Influenz) frei wird. Wenn man nun mit dem Luftelektrometer eine Beobachtung anstellen will, sagt Lamont, geht man damit auf ein Hausdach oder sonst einen erhöhten und freien Punkt hinaus, stellt das Instrument auf ein hohes Gestell, berührt die Leitstange mit dem Finger, und bringt es dann in einen verschlossenen Raum, etwa in ein Zimmer, wo die Ablesung geschieht. Durch die eben erwähnte Berührung mit dem Finger wird eine leitende Gemeinschaft mit der Erde hergestellt, und es muß unter der Voraussetzung, daß die Atmosphäre

*) Cornelius, die Lehre von der Elektricität und dem Magnetismus ꝛc. S. 98. Leipzig 1855.

**) Pogg. Ann. Bd. LXXXV. S. 500.

rein ist, die Elektricität, welche immer die höchsten Punkte zu gewinnen sucht, in dem Elektrometer sich ansammeln, und zwar wird die Menge der Höhe proportional sein. Kommt dann das Instrument in einen verschlossenen Raum, wo keine elektrische Spannung stattfinden kann, so äußert sich die im Elektrometer enthaltene und von der Erde aufgenommene Elektricität frei, und zwar als negativ. Wenn man also ein Luftelektrometer mit der Erde verbindet, so verhält sich nach Lamont's Ansicht die Sache ungefähr so, als ob man auf einem isolirten negativ elektrischen Leiter eine Metallspitze befestigt. Die Elektricität des Leiters erfährt dadurch bekanntlich eine andere Anordnung, so daß die elektrische Spannung an der Spitze am größten wird. Untersucht man das Elektrometer, nachdem die erwähnte Berührung aufgehoben ist, so zeigt es den negativ elektrischen Zustand der Erde am Beobachtungsorte an, während es den Anschein gewinnen kann, als ob der negative Zustand des Elektrometers durch Influenz (Vertheilung) von Seiten einer positiv elektrischen Luft erregt worden sei. Nun weiß man aber, daß ein feststehendes, isolirtes, d. h. nicht mit der Erde leitend verbundenes Luftelektrometer bei heiterer Witterung stets positive Elektricität anzeigt. Dies scheint nach Lamont's Ansicht nicht erklärbar zu sein, sondern auf eine besondere Dispostion der Atmosphäre hinzudeuten, welche eine Störung des elektrischen Gleichgewichts in dem leitenden Theile des Elektrometers veranlaßt, dergestalt, daß die positive Elektricität dabei frei wird. Eine solche Dispostion wird aber mit der Annahme eines positiv elektrischen Zustandes der Atmosphäre (als solcher) zusammenfallen, ein Zustand, welcher im Sinne unserer Theorie eine Verschiebung des eigenen Elektricums der Stange nach oben hin bewirkt, so daß der obere Theil negativ, der untere positiv elektrisch wird. Man hat hier gewissermaßen ein Gegenstück zu der Betrachtung, welche wir (S. 699 ff.) bezüglich der Erman'schen Versuche angestellt haben. Die negative Divergenz des gegen die Erde bewegten Elektrometers erklärt sich aus der Annahme eines positiv elektrischen Zustandes der Luft, falls man das Elektrometer (in einer gewissen Höhe) auf kurze Zeit mit der Erde in leitende Verbindung gesetzt hat. Dabei kann man die Erde als elektrisch neutral ansehen. Wenn aber auch ein isolirtes Elektrometer (ohne vorgängige Verbindung mit der Erde) eine solche Divergenz zeigt, so kann dies nur von einem vertheilenden Einflusse herrühren, den die Erde als negativ elektrisch ausübt. Umgekehrt erklärt sich die sogenannte positive Luftelektricität, wenn man die Atmosphäre als neutral und die Erde als negativ elektrisch ansieht, aber nur dann, falls man das Elektrometer, wie bei Lamont's Versuchen, auf einen Augenblick mit der Erde leitend verbindet. Die positive Divergenz eines isolirten Luftelektrometers scheint auf einen positiv elektrischen Zustand der Atmosphäre zurückgeführt werden zu müssen. Faßt man Alles zusammen, so ergiebt sich das Resultat, daß Erde und Atmosphäre (als solche) entgegengesetzt elektrisch sind, nämlich jene negativ, diese dagegen positiv elektrisch. — Wolken enthalten nach Lamont eine mäßige Menge negativer Elektricität und vermindern die permanente negative Elektricität der Erdoberfläche. In Gewitterwolken ist meist so viel negative Elektricität enthalten, daß sie, wenn sie in die Nähe kommen, die permanente Elektricität ganz verdrängen und eine mehr oder minder beträchtliche positive Elektricität durch Vertheilung hervorrufen. (Wirkt also eine Gewitterwolke direct vertheilend auf ein Luftelektrometer, so wird die zurückgetriebene freie negative Elektricität eine negative Divergenz bewirken.) Wolken mit positiver

Elektricität sind sehr selten. Becquerel suchte die Erscheinungen der atmosphärischen Elektricität aus den Gesetzen der Thermoelektricität abzuleiten, indem bei der Berührung von kalter und warmer Luft die letztere positiv, die erstere negativ elektrisch werde. Auch Duprez (s. S. 685) betrachtet den positiv elektrischen Zustand der Atmosphäre bei heiterem Wetter als eine Folge des Temperaturwechsels. Man sollte indessen meinen, daß in diesem Falle die positive Elektricität nicht so constant auftreten könnte, und man selbst bei sonst heiterer Witterung öfter Anzeigen negativer Elektricität erhalten müßte. Die aufsteigenden Dämpfe sollen nach Becquerel *) theils positiv, theils negativ sein, wobei er sich auf den negativ elektrischen Zustand der Erde stützt, welche den sie berührenden und von ihr aufsteigenden Stoffen negative Elektricität mittheilen soll. Eine besondere Theorie der elektrischen Erscheinungen der Atmosphäre ist auch von Prechtl aufgestellt worden. Diese Theorie würde in größerer Uebereinstimmung mit den Thatsachen stehen, wenn es ihr geglückt wäre, den thatsächlich gegebenen Gegensatz zwischen der positiven und negativen Elektricität mit Evidenz darzulegen. Ihre Widersprüche mit der Erfahrung hat Configliachi (an dem bereits citirten Orte) aufgezählt.

Da die positive Elektricität der Atmosphäre nach unserer Ansicht keiner besonderen Quelle bedarf, so können wir nur noch fragen, woher die meist negative Elektricität der atmosphärischen Niederschläge rührt **). Der Verdampfungsproceß des Wassers ist oben angeführten Versuchen zufolge gewiß nicht die Ursache des positiv elektrischen Zustandes unserer Atmosphäre; es ist aber möglich, daß derselbe die Quelle der negativen Elektricität ist, welche bei jenen Niederschlägen oft hervortritt. Sowohl Erfahrung als auch Theorie weisen darauf hin, daß fast alle Formveränderungen der Körper von elektrischen Erscheinungen begleitet sind. Wenn die Elemente des Elektricums um die Massentheilchen der Materie Sphären gebildet haben, so müssen diese letzteren wohl Veränderungen erleiden, wenn die Theilchen eines Körpers bei dessen Formverwandlung sich anders gruppiren. Die Erscheinung des Gewitters zeigt, daß die Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes mit einer Elektricitätsentwickelung verbunden ist, und schon dies macht wahrscheinlich, daß auch der Uebergang des Wassers in Dampf von einem elektrischen Vorgange begleitet ist. Die Verhältnisse können aber dabei von der Art sein, daß die entgegengesetzt elektrischen Zustände entweder gar nicht oder doch nicht so scharf aus einander treten, als es zum Behufe der Wahrnehmung vermittelst unserer gewöhnlichen Instrumente nöthig ist. Wenn nur ein kleinstes Massentheilchen der Materie isolirt, d. h. ohne Verbindung mit anderen derselben Art, aber umringt von den Elementen des Elektricums ist, so werden diese sich vermöge der Anziehung, welche zwischen ihnen und den Massentheilchen besteht, um das letztere gruppiren und dasselbe sphärenartig einhüllen. Die Anzahl der elektrischen Elemente, welche das Massentheilchen in diesem Falle mit sich vereinigen kann, wird größer sein, als wenn mehrere solcher Theilchen vermöge ihrer eigenen gegenseitigen Anziehung zu einem Körper zusammentreten. Im letzteren

*) Traité de l'Electr. et du Magn. T. IV. p. 121.

**) Cornelius, die Lehre von der Elektricität und dem Magnetismus ꝛc. S. 99. Leipzig 1855.

Falle wächſt die Repulſion und demgemäß auch die Spannung zwiſchen den Elementen des Elektricums, während ſie ſich dort mit größerer Freiheit um jedes einzelne Maſſentheilchen gruppiren können. Bei der Verdunſtung des Waſſers nun, welches die Erde bedeckt, werden durch Einwirkung der Wärme die kleinſten Maſſentheilchen des Waſſers von einander getrennt, und weil das letztere mit der negativ elektriſchen Erde in Berührung iſt, ſo wird dem Elektricum Gelegenheit gegeben, größere Sphären um die Waſſermolecüle zu bilden, als demſelben während ihrer Verbindung unter einander möglich war. Wenn die iſolirten Waſſermolecüle in die Atmoſphäre aufſteigen und ſich hier verbreiten, ſo können ſie keine merkliche Spur von Elektricität verrathen, da das Elektricum in ihnen gebunden iſt, verdichten ſie ſich aber irgendwo zu Waſſer, ſo muß ein Theil von dem Elektricum der Sphären frei werden. Die Schnelligkeit des Ueberganges in die tropfbar flüſſige Form muß von Bedeutung ſein für die Menge der momentan hervortretenden Elektricität. Geſchieht der Uebergang ſehr allmälig, ſo wird das Elektricum eben ſo allmälig frei, und die jeden Augenblick hervortretende Menge kann ſo gering ſein, daß ſie ſich der Wahrnehmung völlig entzieht. Der poſitiv elektriſche Zuſtand der Atmoſphäre überhaupt wird dadurch nicht beeinträchtigt werden; vielmehr müſſen die höher gelegenen poſitiv elektriſchen Luftſchichten, weil der entſtandene Dunſt eine Art leitender Gemeinſchaft zwiſchen ihnen und der negativ elektriſchen Erde ſtiftet, einen größeren Einfluß auf die letztere gewinnen. Es kommt hierbei viel auf quantitative Verhältniſſe an. Nebel und Wolken ſind Aggregate von Dunſtbläschen, welche die eben erwähnte Gemeinſchaft zwiſchen der Erde und den höheren Luftſchichten vermitteln. Anzeigen negativer Elektricität ſtellen ſich häufig erſt dann ein, wenn die Dunſtbläschen zu Tropfen zuſammenfließen, und auch in dieſem Falle kann die Leitung, welche ſie zwiſchen den höheren poſitiv elektriſchen Luftſchichten und der Erde gewähren, in ihrer Wirkung das Uebergewicht haben über die Wirkſamkeit der negativen Elektricität, d. h. des Elektricums ſelbſt, welches bei der Condenſation des Dampfes zu Waſſer hervortritt. Wenn dagegen eine plötzliche und energiſche Condenſation des atmoſphäriſchen Waſſerdampfes ſtattfindet, wie etwa beim Gewitter durch das Eindringen eines kälteren Luftſtromes in warme mit Waſſerdampf geſättigte Luft, ſo wird eine eben ſo heftige Repulſion zwiſchen den elektriſchen Sphären der Waſſermolecüle eintreten, wenn dieſe, in unmittelbarer Berührung mit einander, zur Tropfenbildung veranlaßt werden. Je raſcher und energiſcher aber die Condenſation des atmoſphäriſchen Waſſerdampfes von Statten geht, deſto größer wird die Menge des frei werdenden Elektricums ſein. Die letztere wird gerade bei dieſer erſten, energiſchen Tropfenbildung am größten ſein, weniger wenn der einmal eingeleitete Regen nur noch erhalten wird durch die Condenſation des Waſſerdampfes auf der kalten Oberfläche der bereits gebildeten größeren und kleineren Tropfen in einer mit Waſſerdampf geſättigten Luft.

Eine auf die angegebene Weiſe entſtandene Gewitterwolke iſt nun allemal negativ elektriſch, in ſofern das Elektricum ſelbſt auf ihrer Oberfläche angehäuft iſt. Dieſelbe kann aber vertheilend wirken auf andere entfernte Wolkenſchichten, die, weil ſie minder energiſch entſtanden, ſich mehr im gewöhnlichen Zuſtande befinden, und daher kann es kommen, daß während eines Gewitters bald negative, bald poſitive Elektricität angezeigt wird. Iſt aber das Luftelektrometer direct dem vertheilenden Einfluß der Gewitterwolke ausgeſetzt, ſo wird es meiſt negativ divergiren.

Eine Gewitterwolke wirkt nun auf eine Wolke der letzt bezeichneten Art vertheilend, indem der elektrische Druck (s. d. Art. Elektricität), den das in ihr angehäufte Elektricum ausübt, durch die zwischenliegenden Luftschichten sich fortpflanzt und das Elektricum der zweiten Wolke von der zugekehrten Seite nach der abgewendeten treibt. Das Elektricum der ersten Wolke wird dann, sobald es das Maximum der Spannung erreicht hat, als elektrischer Funke die Luft durchbrechen, um in den leeren Raum einzudringen, den es sich selbst im zugekehrten Theil der zweiten Wolke geschaffen hat. Ist aber die Entfernung beider Wolken sehr bedeutend, so wird das in der ersten Wolke angesammelte Elektricum nicht selbst in die zweite gelangen, sondern nur in einer gewissen Entfernung eine Anhäufung des Elektricums in den zwischenliegenden Luftschichten hervorbringen. Von hier aus kann dann wieder in einer bestimmten Distanz eine neue Verdichtung des E bewirkt werden, und so in abnehmendem Grade fort bis zur anderen Wolke. Bricht jetzt der Blitz aus der eigentlichen Gewitterwolke hervor, so springen zugleich elektrische Funken zwischen beiden Wolken aus allen jenen Stellen über, in denen eine Anhäufung des Elektricums stattfindet. Hieraus erklärt sich die mitunter sehr beträchtliche Länge des Blitzes. Schwebt eine solche Gewitterwolke über Gegenständen, welche mit der Erde in leitender Gemeinschaft stehen, so wird sie auch auf diese vertheilend wirken, indem sie vermöge des elektrischen Druckes, der von ihr ausgeht, das diesen Körpern inwohnende Elektricum zurücktreibt, um ihr eigenes E in den dadurch bewirkten freien Raum zu senden. Ob das letztere aber wirklich geschieht, hängt von verschiedenen Umständen, unter anderem von der Entfernung der Wolke und von der Beschaffenheit des Gegenstandes ab, in welchem die elektrische Vertheilung vor sich geht. Ist derselbe ein Leiter der Elektricität, so kann das in ihm vorhandene E natürlich viel leichter nach der entgegengesetzten Seite in den Boden getrieben werden, wodurch der Uebergang des Elektricums aus der Gewitterwolke in diesen Gegenstand begünstigt wird. Kann aber die Wolke, welche das einem solchen Körper eigenthümliche Elektricum zurückgedrängt hat, nach einer anderen Seite hin zur Entladung gelangen, so fällt ihr Einfluß auf denselben fort, und das in die Erde getriebene E des letzteren muß nun wieder plötzlich in demselben hervortreten, und in den gewöhnlichen Gleichgewichtszustand zurückkehren. Es findet dann ein sogenannter Rückschlag statt, der, wenn die Menge des zurückgedrängten Elektricums (in Folge eines starken vertheilenden Einflusses) sehr beträchtlich und die Rückkehr in den anfänglichen Gleichgewichtszustand sehr plötzlich ist, ähnliche verheerende Wirkungen wie der directe elektrische Schlag hervorzubringen vermag. Man wird nun einsehen, was im Art. Gewitter erwähnt worden ist, daß nämlich die Elektricität eigentlich nicht die Ursache, sondern eine Folge der Gewitterbildung ist, welche letztere durch eine rasche und beträchtliche Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes bewirkt wird.

Es sei hier noch beiläufig erwähnt, daß die Wolken nach Peltier*) auf zweierlei Weise elektrisch sind, nämlich molecular und peripherisch. Der molecularelektrische Zustand bezieht sich auf die Elektricität der einzelnen Dunstbläschen. Sobald sich die letzteren an einander reihen, geht ihre Elektricität auf die Ober-

*) Observations et recherches exper. sur les causes des trombes. Brux. 1831. p. 89.

fläche der Wolke, und die hier peripherische Elektricität kann nach der Entladung durch die moleculare wieder ersetzt werden.

In Hinsicht auf die übrigen Erscheinungen des Gewitters verweisen wir auf den Art. Gewitter. Hier wollen wir aber zum Schlusse noch ein elektrisches Phänomen erwähnen, das nicht selten ein recht interessantes Schauspiel darbot. Es sind dies die sogenannten Wetterlichter, die gewöhnlich unter dem Namen des St. Elmsfeuers bekannt sind. Man nennt die Erscheinung aber wohl auch Hermesfeuer und Helenenfeuer. Schon die Alten erzählten vielfach von diesem Phänomen, das sie in einen abergläubigen Zusammenhang mit ihrem Götterglauben brachten. So wird von Seneca *), Livius **), Hirtius ***) ꝛc. erzählt, daß sich Feuerbüschel auf den Spitzen der Lanzen und Pfeile zeigten, und auch Plinius ****) erwähnt, daß er selbst Sterne auf den Lanzen der Soldaten und auf den Masten der Schiffe gesehen, die mit Zischen von einer Stelle zur anderen hüpften. Bei den Alten wurde das St. Elmsfeuer nach den Dioskuren, Castor und Pollux benannt, welche als Retter in Seegefahren verehrt und als rettend nahe erkannt wurden, wenn diese Lichterscheinung auf den Masten oder Segeln sich zeigte. Dies geschah, wenn man zwei Lichtflammen bemerkte, wurde dagegen nur eine einzige Lichtflamme gesehen, so galt diese für ein böses Zeichen, für die Erscheinung der Helena, der Schwester der Dioskuren, die den Trojanern so verderblich geworden. Nach F. Piper *****), der sich näher mit der Geschichte der Benennung: St. Elmsfeuer beschäftigt hat, liegt derselben ein christlicher Heiligenname (Erasmus, zusammengezogen Ermus, italienisch Ermo, auch Elmo) zum Grunde. Wir lassen nun einige Darstellungen des Phänomens, das im Allgemeinen eine elektrische Lichterscheinung an hervorragenden Gegenständen ist, folgen. Forbin †) erzählt: „Im Jahre 1696 zog sich plötzlich während der Nacht ein schwarzes Gewölk zusammen, wobei erschreckliche Lichter und Donnerschläge entstanden. Weil ich einen starken Sturm befürchtete, ließ ich alle Segel einziehen. Wir sahen auf dem Schiffe mehr als 30 St. Elmsfeuer. Eins unter anderen befand sich oben auf dem Windflügel des großen Mastes, welches mehr als $1\frac{1}{2}$ Fuß hoch war. Ich schickte einen Matrosen hinauf, es herunterzubringen. Als er oben war, hörte er dieses Feuer ein Geräusch machen, wie wenn man angefeuchtetes Schießpulver entzündet. Ich befahl ihm den Flügel abzunehmen und damit herunterzukommen. Kaum aber hatte er ihn von der Stelle weggenommen, so ging das Feuer davon weg und setzte sich auf die Spitze des Mastes, ohne daß man es hätte davon abbringen können. Es blieb daselbst ziemlich lange, bis es nach und nach verging. Der gedachte Sturm hatte keine Folgen als einen starken Regen, der mehrere Stunden dauerte." Ein anderes Beispiel erzählt Burchell ††): „Ich kehrte Abends von einem Besuche zurück, welchen ich den Missionären (im südlichen Afrika) gemacht hatte,

*) Quaest. Nat. Lib. I. Cap. 1.
**) Histor. Lib. XXXII. Cap. 1.
***) Bellum afric. Cap. 47.
****) Hist. nat. Lib. II. Cap. 37.
*****) Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 317.
†) Mém. du comte de Forbin. T. I. p. 368. Hamburg. Magazin. Th. VII. S. 425.
††) Reise in Südafrika. Th. I. S. 368. Kämtz, Meteorologie. Th. II. S. 487.

und als ich über die Wiese ging, bemerkte ich ein elektrisches Phänomen, das ich nur dies einzige Mal in meinem Leben sah. Von jeder Himmelsgegend aus schienen Blitze auszugehen, die auf einander in sehr kurzen Zwischenzeiten ohne Donner folgten. Alles rings umher war still und nur einzelne schwere Regentropfen entfielen einigen außerordentlich dichten und schwarzen Wolken. Plötzlich erblindete ich fast von einem glänzenden Schimmer, der vom Zenith herabgefahren zu sein schien, und einen Augenblick lang schien jeder Grashalm 15 Fuß im Umkreise durch die Elektricität entzündet zu sein. Keine Explosion fand statt, nicht das mindeste Geräusch ließ sich hören, und das Phänomen äußerte seine Wirkung auf keine andere Weise. Alles blieb ruhig und ich setzte meinen Weg fort, ohne daß die Erscheinung sich von Neuem gezeigt hätte. Das grobe Gras hatte an jener Stelle einen Fuß Höhe, und jeder Halm und jedes Blatt war stark erleuchtet, oder schien vielmehr zu brennen; doch weiter als 15 Fuß konnte ich diese Erscheinung nicht wahrnehmen."

Gilbert *) führt folgende Beispiele an. Allemand **) sah am 3. Mai 1821 in der Nähe von Neufchatel während eines heftigen Gewitters, daß sein Hut und Regenschirm leuchteten. Desgleichen bemerkte J. Braid zu Leadhills am 20. Februar 1817, daß die Ohren des Pferdes und der Rand des Hutes ganz leuchtend waren. Einige Zeit darauf fing es an heftig zu schneien und zu regnen. Sobald das Pferd naß geworden war, verschwand das Licht an den Ohren, aber das schwache Licht am Rande des Hutes erlosch nicht eher, als bis der Hut durch und durch naß war. Ehe der Regen anfing, schossen unzählige Funken nach dem Rande des Hutes und den Ohren des Pferdes. Eben so hatte man in der Nacht vom 17. Januar 1817 an vielen Gegenden der östlichen Küste der vereinigten Staaten von Nordamerika Gewitter mit Regen und Schnee. Die Blitze folgten auf einander fast ununterbrochen, aber nur auf wenige folgte Donner. Die Personen, welche sich um diese Zeit im Freien, an etwas hochliegenden Stellen befanden, sahen den Rand ihrer Hüte, ihre Handschuhe, die Ohren, den Schweif und die Mähnen der Pferde, an den Wegen stehendes Gesträuch, einzeln stehende Baumstämme und dergleichen mit lebhaften, wankenden und verschieden gestalteten Flammen umgeben, welche ein schwaches Geräusch hervorbrachten, ähnlich dem, welches man beim Kochen des Wassers kurz vor dem Sieden bemerkt.

Sauſſure und Jollabert ***) bemerkten auf den Alpen ebenfalls Feuerbüschel an ihren Fingern und ihrer Bekleidung, vorzüglich an einer metallenen Hutagraffe, welche Jollabert trug. Aehnliche Wetterlichter an den Ohren seines Pferdes sah auch Nicholſon ****), und eben so Snell *****) an dem Hute bei einem vorüberziehenden Gewitter †). Riegel ††) wurde in der Nähe von Aschaffenburg bei sehr finsterer Nacht von einem heftigen Platzregen mit

*) Annalen. Bd. LXX. S. 119.
**) Biblioth. univ. 1821.
***) Hist. de l'Acad. 1767. p. 33.
****) Phil. Trans. T. LXIV. p. 351.
*****) Lichtenberg's Magaz. Th. V. St. 1. S. 111.
†) Erzählungen ähnlicher Fälle sind enthalten in: Phil. Trans. T. XLVIII. p. 210. Mém. de l'acad. 1764. p. 403. Ann. de Chim. et de Phys. T. XVII. p. 305.
††) Pogg. Ann. Bd. XLVI. S. 655.

Sturmwinde überfallen. Als dieſer nach etlichen Minuten vorüber war, wurde derſelbe und ſein Pferd von einem zweiten Regen durchnäßt, und er ſah dann, während er in einer Fähre über ein Waſſer fuhr, daß die in die Höhe ſtehenden Mähnen ſeines Pferdes, ſo wie die Ränder und Spitzen der Ohren zu leuchten anfingen. Auch die aus Bindfaden geflochtene Spitze ſeiner Reitpeitſche leuchtete einen Fuß lang. Auf der Mitte des Fluſſes zeigte ſich die Erſcheinung am auffallendſten, und verſchwand, als Riegel das Land betreten hatte. Mohr *) erzählt von einem Herrn, der bei Regenſchauer und Schneegeſtöber in finſterer Nacht zwiſchen einem Fluſſe und einem Walde ritt. Nach einigen Funkenerſcheinungen ſah er die Ohren ſeines Pferdes leuchten, und bald verbreitete ſich das Licht von hier über den ganzen Kopf und Hals. Das Pferd des hinterher reitenden Bedienten zeigte dieſelbe Erſcheinung. Auf jeder längeren Haarſpitze ſaß gleichſam ein Funke, größere auf den längeren und faſt unmerkliche auf den kleinen. Johanniswürmchen ähnlich ſaßen dieſe Lichtpunkte auf den am Eingange der Naſenlöcher und Ohren ſitzenden Haaren, und waren beſonders brillant längs der Mähnen, wo ſie wie Perlen in den einzelnen Haaren eingeſchoben zu ſein ſchienen. An dem Kamme, wo die Mähnen links herabhängen, ſtanden viele Haare in die Höhe, deren Spitzen alle mit dieſen Lichtpunkten reich beſetzt waren. Die Erſcheinung dauerte 5 bis 6 Minuten, erloſch zuletzt an den Ohren, und kam noch einige Mal, auf kürzere Zeit wieder. Am Schweife und an den übrigen Theilen des Pferdes war nichts zu ſehen.

Viele Wetterlichter bei Schneegeſtöber zeigten ſich auch am 23. Febr. 1792 Abends auf dem Thurmknopfe der großen evangeliſchen Pfarrkirche zu Hermannſtadt **). Zuerſt zeigten ſich kleine weiße, ins Bläuliche ſpielende Flammen, mit denen aber bald der ganze Knopf beſetzt war. Dabei hörte man ein deutliches Gekniſter, die Flammen bewegten ſich, und nahmen mit dem Winde ab und zu. Als es um halb acht Uhr aufhörte zu ſchneien, verſchwand die Erſcheinung. Capitän Bourdet wurde im December 1806 auf einem nächtlichen Marſche in Polen von einem Schneegeſtöber bei heftigem Sturme überfallen ***). Alsbald fingen die Ohren und alle längeren Haare der Pferde, mit Ausnahme der Schwänze und Mähnen, an zu leuchten, wie auch alle hervorragenden metallenen Enden und Spitzen. Dieſe Erſcheinung dauerte etwa 3 bis 4 Minuten und hörte gerade auf, als der heftige Windſtoß nachließ und ein ſtarker Regenſchauer eintrat.

Endlich kommt es auch vor, daß die herabfallenden Schneeflocken ſelbſt leuchtend ſind. Bei einem heftigen Schneegeſtöber, welches zu Freiberg am 25. Februar 1822 ſtattfand, und bei welchem die Elektricität nach Lampadius ****) Beobachtung ſehr ſtark war, bemerkte der Bergeleve v. Thielau bei der Halsbrückner Straße an den Zweigſpitzen aller Bäume eine lebhafte Lichterſcheinung (von bläulich weißer Farbe), welche aufhörte, wenn die Zweigſpitzen der Bäume zur Erde gebogen wurden. Zu derſelben Zeit ſahen drei Bergleute auf der anderen Seite von Freiberg, daß die Schneeflocken und Graupelkörner leuchtend zur Erde

*) Pogg. Ann. Bd. XXXIV. S. 370.
**) Lichtenberg's Magaz. Th. VIII. St. 4. S. 158.
***) Edinb. Phil. Journ. No. XXII. p. 405.
****) Gilbert's Ann. Bd. LXX. S. 113.

fielen. Dieselbe Erscheinung des leuchtenden Schnees hat Forskall*) am 22. April 1759 zu Upsala gesehen, und Ende März 1823 wurde sie auf dem Lochawe-See in Argileshire beobachtet.

Das St. Elmsfeuer ist nun wohl ohne Zweifel dieselbe bekannte Lichterscheinung, welche man an Spitzen wahrnimmt, wenn in diese Elektricität ein- oder aus ihnen herausströmt. Nach unserer Ansicht (s. Art. Elektricität)**) sind die sogenannten negativen Spitzen, welche einen leuchtenden Punkt oder Stern oder einen kleinen Lichtbüschel zeigen, diejenigen, welche das Elektricum wirklich aussenden; die positiven Spitzen empfangen dagegen das Elektricum von verschiedenen Seiten her aus der Umgebung, und zeigen einen längeren Lichtbüschel. Die meisten Erscheinungen des St. Elmsfeuers scheinen (der Beschreibung nach) dem letzteren Falle anzugehören, indem die negative Elektricität einer Wolke (oder des Regens und Schnees), d. h. also das Elektricum selbst den Spitzen hervorragender Gegenstände sich mittheilt. Dies wird geschehen, wenn die Gewitterwolke der Erde sehr nahe ist, so daß die hervorragenden Spitzen in die elektrische Atmosphäre der Wolke gleichsam eingetaucht sind, wo dann statt der explosiven Entladung eine mehr geräuschlose stattfindet, welche sich eben durch die Lichtflämmchen an den Spitzen bemerklich macht. Diese Erscheinung scheint nicht selten vorzukommen, wenn die Gewitterwolke in Folge der Windverhältnisse zerstreut wird, und dann als weniger compacte Masse zur Entladung gelangt. So bemerkt auch Reimarus***), daß dieselbe sich nicht sowohl während der Gewitter als vielmehr nach der Zertheilung derselben zeige, und daher von den Schiffern als eine gute Vorbedeutung betrachtet werde. Die Erscheinung tritt aber wohl eigentlich gerade während der Zertheilung oder Zerstreuung des Gewitters hervor. Die Lichtpunkte an den Spitzen deuten dagegen auf ein Ausströmen der negativen Elektricität (des Elektricums) der Erde nach einer durch Vertheilung positiv elektrisirten Wolkenschicht hin. Diese Vertheilung kann durch eine andere, entferntere negativ elektrische Gewitterwolke bewirkt werden.

Luftheizung, s. Heizung.

Luftkreis, s. Atmosphäre.

Luftschifffahrtskunde, Aëronautik, ist die Lehre von den Mitteln zu einer willkürlichen Bewegung der Luftschiffe. Sobald es gelungen war, ein Luftschiff, d. h. eine frei in der Luft schwimmende und nicht unbeträchtliche Lasten tragende Maschine herzustellen, mußte sich das Nachdenken der Frage zuwenden, durch welche Mittel eine solche Maschine gelenkt werden könne, so daß nicht blos die Höhe, in der sie schweben soll, sondern auch Richtung und Geschwindigkeit ihrer horizontal fortschreitenden Bewegung willkürlich zu bestimmen wäre. Die große Sicherheit, welche man in der Regierung der Seeschiffe besitzt, ließ im ersten Augenblick hoffen, es werde auch leicht möglich sein, eine ähnliche Sicherheit in der Lenkung der Luftschiffe zu erreichen, aber, obgleich diese Frage anfangs mit vielem Eifer behandelt ist, sind doch die Resultate der Bestrebungen noch so gering

*) Bergmann, Physik. Erdbeschr. Th. II. S. 78.

**) Vergl. auch Cornelius: Die Lehre von der Elektricität und dem Magnetismus ꝛc. S. 67—73. Leipzig 1855.

***) Neuere Bemerkungen vom Blitze. S. 170. Hamburg 1794.

geblieben, daß eine praktiſche Anwendung der Luftſchifffahrt noch nicht erreicht iſt. Dennoch wird die Naturwiſſenſchaft auf jedem Standpunkte ihrer Ausbildung nicht vermeiden können, die Frage von neuem aufzunehmen, um zu unterſuchen, ob mit den ihr zu Gebote ſtehenden Mitteln eine Löſung derſelben möglich iſt.

Es iſt für die willkürliche Bewegung des Luftſchiffs von weſentlichem Einfluß, ob die Luft ruhig, oder ob ſie in Bewegung iſt, und wir wollen in der nachfolgenden Betrachtung dieſe beiden Fälle auseinanderhalten und zunächſt die Bewegung in ruhiger Luft unterſuchen. Dieſe Bewegung iſt wiederum entweder eine verticale oder eine horizontale, die beide getrennt von einander unterſucht werden müſſen. Steigt eine gewöhnliche Charlière in ruhiger Luft auf, ſo iſt die Steigkraft K derſelben durch folgende Formel gegeben

$$K = \frac{n\,d^3\,(p - q)\,\pi}{6} - d^2\,b\,\pi - P.$$

Hier bezeichnet d den Durchmeſſer des Ballons, p das Gewicht von einem Cubikfuß atmoſphäriſcher Luft, q das Gewicht von einem Cubikfuß des eingeſchloſſenen Gaſes, b das Gewicht von einem Quadratfuß der Ballonhülle, P die Nebenlaſt, d. i. das Gewicht der Schnüre, der Gondel, der Luftſchiffer u. ſ. f. Die Geſchwindigkeit v, die der Ballon im Aufſteigen annimmt, wird ſein

$$v = \sqrt{\frac{5\,K}{d^2\,\pi\,k}},$$ in welcher Formel $K = 0{,}00162$ zu ſetzen iſt, und

die Höhe, in welcher der Ballon ins Gleichgewicht kommt, wird ſein

$$H = \frac{B}{D}\ \log\ \text{nat}\ \frac{d^3\,\pi\,(p - q)}{6\,(d^2\,b\,\pi + P)},$$

wenn mit B die Barometerhöhe an der Erdoberfläche und mit D die Dichte der Luft daſelbſt, bezogen auf die Dichte der Barometerflüſſigkeit, bezeichnet wird *).

Dieſe Formeln zeigen, daß es durch geeignete Beſtimmung der Nebenlaſt P ganz in der Hand des Luftſchiffers liegt, mit welcher Steigkraft und mit welcher Geſchwindigkeit er aufſteigen will; die Höhe, bis zu welcher der Ballon ſich erhebt, hängt weſentlich von dem Durchmeſſer deſſelben und von der Laſt P ab. Einen Einfluß auf die verticale Bewegung während der Fahrt hat der Luftſchiffer nur in ſofern, als er die aufſteigende Geſchwindigkeit mäßigen oder dieſe Bewegung ganz zur Ruhe bringen kann durch Herauslaſſen von Gas; durch daſſelbe Mittel kann er auch den ruhenden Ballon zum Sinken bringen. Soll der ruhende Ballon noch weiter ſteigen, die ſteigende Bewegung beſchleunigt oder die fallende verzögert werden, ſo ſteht ihm dazu nur das Mittel zu Gebote, die Nebenlaſt P zu vermindern, d. h. Ballaſt auszuwerfen. Beide Mittel, das Herauslaſſen von Gas ſowohl als das Herabwerfen von Ballaſt, haben aber den Nachtheil, daß ſie Verluſte herbeiführen, die ſich innerhalb derſelben Fahrt nicht erſetzen laſſen; man hat alſo verſucht dieſe Mittel durch andere zu erſetzen.

So lange der Ballon nicht vollſtändig aufgebläht iſt, bleibt ſeine Steigkraft dieſelbe, denn wenn er auch in immer leichtere Luft kommt, die geringere Tragfähigkeit beſitzt, ſo wird doch ſein Volumen in demſelben Verhältniß größer; eben ſo bleibt die relative Schwere des ſinkenden Ballons dieſelbe. Iſt nun der

*) Siehe den Artikel Luftball.

steigende Ballon durch Herauslassen eines entsprechenden Quantums Gas zur Ruhe gebracht, so gehört sein Gleichgewichtszustand keiner besonderen Höhe an, sondern er würde nun in verschiedenen Höhen im Gleichgewicht sein können mit der einzigen Beschränkung, daß diese Höhen unterhalb derjenigen sind, für welche der Ballon vollständig aufgebläht ist. Könnte man also den schwebenden Ballon durch irgend ein äußeres Mittel ohne Verlust an Gas in eine tiefere Region herabbringen, so müßte er auch hier schweben, ohne das Bestreben zu haben, zu seiner vorigen Höhe sich zu erheben. Sein Gleichgewicht ist also rücksichtlich der Höhe kein stabiles, sondern ein indifferentes; nur wird der Ballon in den tieferen Luftschichten weniger, in den oberen mehr aufgebläht sein. Der Bewegung des Ballons stellt sich also nur der Luftwiderstand als einziges Hinderniß entgegen, dieses aber richtet sich nach der ertheilten Geschwindigkeit. Es folgt also, daß die kleinste auf das Luftschiff ausgeübte Kraft dasselbe bei ruhiger Luft wird in Bewegung setzen können, und es ist hierbei ganz gleichgültig, in welcher Richtung diese Bewegung vor sich gehen soll, bei gänzlicher Abwesenheit anderer Kräfte wird das Luftschiff die Richtung der wirkenden Kraft annehmen. Diese Kraft muß entweder den Widerstand der umgebenden Luft als Stützpunkt annehmen, oder die feste Masse des Aërostaten muß dieser Stützpunkt sein. Zu dem ersten Fall würde gehören die Anwendung von Rudern, von Schaufelrädern, von denen die Hälfte oder drei Viertel von einer an der Gondel befestigten Hülle umgeben wären, oder die Anwendung der archimedischen Schraube *). Von diesen Mitteln wird dasjenige den Vorzug verdienen, welches den größten Theil der zu seiner Bewegung angewandten Kraft auf den Stützpunkt überträgt; die einfachste Vorrichtung, die Ruder möchten den Vorzug verdienen. Als bewegende Kraft bietet sich zunächst die Muskelkraft des Aëronauten dar, und wir wollen nun überschlagen, welche Wirkung sich davon erwarten läßt.

Die oben für v aufgestellte Formel hat auch die Bedeutung, daß K die Größe des Luftwiderstandes eines Ballons zum Durchmesser d bei der Geschwindigkeit v angiebt; es ist also: $K = \frac{d^2 v^2 \pi k}{5} = 0{,}001018\ d^2 v^2$, die Arbeit dieses Widerstandes in der Secunde ist also $Kv = 0{,}001018\ d^2 v^3$. Bezeichnen wir die Arbeit der auf den Bewegungsapparat ausgeübten Kraft mit A und nehmen das sehr günstige Verhältniß an, daß davon 75 Proc. nutzbar gemacht werden können, so erhalten wir zur Bestimmung der Geschwindigkeit v folgende Gleichung:

$$Kv = 0{,}001018\ d^2 v^3 = 0{,}75\ A,$$ und hieraus ergiebt sich:

$$v = 9{,}03 \sqrt[3]{\frac{A}{d^2}}.$$

*) Zu dem zweiten Falle würde die Reaction einer aus einem Gefäße strömenden gasförmigen Flüssigkeit gehören. Wenn irgend eine Flüssigkeit aus der Oeffnung eines Gefäßes strömt, so wird dem letzteren bei sonst freier Beweglichkeit eine Bewegung ertheilt, deren Richtung der Ausströmungsrichtung gerade entgegengesetzt ist. Sind nun an dem Gefäße, das mit dem Luftballon in Verbindung steht, zwei zu einander parallele Ausströmungsröhren befindlich, die um eine gemeinsame verticale Axe drehbar sind; so läßt sich die Ausströmungsrichtung und mit ihr auch die Bewegungsrichtung des Ballons beliebig abändern. C.

Diese Formel giebt über die Möglichkeit einer willkürlichen Bewegung des Aërostaten wesentliche Aufschlüsse. Die Arbeitsfähigkeit eines Menschen können wir etwa zu 100 Fußpfund in der Secunde ansetzen, was etwas weniger als $^1/_8$ Maschinenpferdekraft ist. Mit solcher Arbeitskraft könnte also ein 30füßiger Ballon mit der Geschwindigkeit von

$$v = 9{,}03 \sqrt[3]{\frac{100}{30^2}} = 4{,}44 \text{ Fuß}$$

bewegt werden, ein 20füßiger würde die Geschwindigkeit 5,69 Fuß annehmen. Auch im letzten Falle würde die fortschreitende Bewegung des Ballons nicht viel größer als die eines stark ausschreitenden Mannes sein. Wirken 2 Menschenkräfte auf den Bewegungsapparat, so kann der 30füßige Ballon eine Geschwindigkeit von 5,47 Fuß, der 20füßige aber eine von 7,17 Fuß annehmen. Ueberhaupt zeigt die Formel, daß die Geschwindigkeit wachsen wird wie die Cubikwurzel aus der Arbeitskraft, die den Ballon treiben soll. Bedenkt man aber, daß in der Regel die treibende Kraft nicht gut anders vergrößert werden kann, als daß sich gleichzeitig auch das Gewicht des ganzen Aërostaten und also auch d der Durchmesser des Ballons vergrößert, so folgt, daß die Geschwindigkeit des Ballons in einem noch geringeren Verhältnisse wachsen wird. Im Allgemeinen wird die zu transportirende Last in ziemlich constantem Verhältniß stehen mit dem Volumen des Ballons, also mit dem Cubus des Durchmessers; nimmt man nun auch das Arbeitsvermögen A der bewegenden Kraft als dieser Last proportional an, so wird man sehr nahe $d = \alpha \sqrt[3]{A}$ setzen können, so daß α einen unbestimmt bleibenden Coefficienten bezeichnet; setzt man diesen Werth in obige Gleichung, so ergiebt sich

$$v = 9{,}03 \sqrt[9]{\frac{A}{\alpha^2}},$$

d. h. die Geschwindigkeit wächst wie die 9. Wurzel aus dem Arbeitsvermögen der bewegenden Kraft, oder beispielsweise, um die Geschwindigkeit eines Luftballons in ruhiger Luft auf das Doppelte zu steigern, müßte man die treibende Kraft auf das 512fache steigern, während gleichzeitig der Ballon den 8fachen Durchmesser bekommen müßte. Bei großer Steigerung der zu transportirenden Last wird es nicht möglich sein, einen einzigen Ballon anzuwenden, man würde gleichzeitig mehrere anwenden müssen, dadurch tritt der Nachtheil ein, daß alsdann die dem Luftwiderstand entgegengesetzte Oberfläche des Ballons in demselben Verhältniß wächst als der Körperraum derselben, also für eine Steigerung der Geschwindigkeit **nichts** erzielt wird.

Gestützt auf diese Vordersätze können wir nun die Folgerung aussprechen, daß, sollte es auch möglich sein, eine größere Kraftmaschine durch einen Aërostaten zu heben, die Wirkung dieser Maschine dem Aërostaten stets nur eine mäßige Geschwindigkeit in ruhiger Luft wird ertheilen können, und daß es dabei ohne wesentlichen Einfluß sein wird, in welcher Weise die Fortbewegung erzielt wird.

Der Gedanke, den ruhenden Aërostaten durch Ruderflügel zu bewegen, lag nahe und ist auch schon früh angewandt. Schon die ersten Luftschiffer **Blanchard**, die Gebrüder **Robert**, der Graf **Zambeccari** gebrauchten dieselben.

Der letztere hatte bei ſeiner erſten Luftfahrt ſeine beiden Ruderflügel aus einem 6,5 Fuß langen, nach außen breiter werdenden mit 15 Quadratfuß Seidenzeug überſpannten Rahmen gemacht; die cylindriſchen Stiele lagen in Ringen, die ſich um eine horizontale Axe drehten. So konnten die Ruder in jeder Richtung bewegt werden; ſollte z. B. der Ballon gehoben werden, ſo wurden die Räder mit ihrer breiten Fläche niedergedrückt und mit der ſchmalen Seite wieder in die Höhe gezogen. Es iſt alſo nicht unmöglich, mit einem Luftſchiff bei ruhiger Luft, allerdings mit körperlicher Anſtrengung der Luftſchiffer eine kleine Reiſe willkürlich vorzunehmen. So wird denn auch erzählt, daß am 25. Auguſt 1785 die Herren Bollet und Alban, Directoren der chemiſchen Officin zu Javelle bei Paris, nach vorbeſtimmter Richtung eine Luftreiſe von Javelle nach St. Cloud und wieder zurück gemacht hätten. Die Wahrheit dieſer Angabe iſt viel beſtritten, aber nehmen wir nur an, daß an jenem Tage Windſtille geweſen iſt, ſo hat die Ausführung dieſer kurzen Reiſe gar nichts Unwahrſcheinliches.

Bietet die verticale Bewegung der Charlièren ſo viel Schwierigkeit, ſo iſt die willkürliche Einwirkung auf die verticale Bewegung einer Montgolfière um ſo einfacher. Vermehrung des Feuers bringt eine Hebung, Verminderung eine Senkung hervor, es kommt nur darauf an, das Feuer ſo anzubringen, daß für den Luftball ſelbſt keine Gefahr daraus erwächſt. So hatte ſchon der erſte Luftfahrer Pilatre de Rozier bei ſeiner erſten Luftreiſe am 21. November 1783 ſo viel Herrſchaft über ſein Fahrzeug, daß er beim Herablaſſen durch geeignete Behandlung des Feuers das Anſtoßen vermeiden konnte.

Bieten ſo die Charlièren bei mäßigem Umfange eine ziemliche Steigkraft und eine ziemlich ſichere Stabilität, hingegen die Montgolfièren einen einfachen und ſicheren Einfluß zur Regulirung ihrer verticalen Bewegung, ſo lag es nahe, beide mit einander zu verbinden, unterhalb der Charlière zwiſchen ihr und der Gondel eine kleinere Montgolfière anzubringen, jener vorzugsweiſe die Herſtellung des Gleichgewichts und dieſer die willkürliche Hebung und Senkung zu übertragen. Leider mißglückte der erſte Verſuch, aber wahrſcheinlich aus anderen Urſachen, und der Erfinder Pilatre de Rozier büßte dabei ſein Leben ein. Mit einer ſolchen Carlo-Montgolfière ſtieg am 22. Auguſt 1804 der Graf Zambeccari auf, und es genügte das Anzünden eines einzigen Flämmchens, den Ballon in wenigen Secunden zum Steigen zu bringen, während das Auslöſchen deſſelben ihn in etwa einer Minute zum Sinken brachte. Man ſieht, die Wirkung des angezündeten Flämmchens machte ſich früher geltend als die des Auslöſchens, da die geringe Wärmeausſtrahlung erſt allmälig ein geringes Zuſammenfallen des Ballons eintreten ließ, doch könnte man durch Anbringung einer einfachen Ventilklappe, wie ſie bei den Charlièren gebräuchlich iſt, ein ſchnelleres Sinken des Ballons erzielen. Durch Oeffnung derſelben, wenn auch nur für einen Augenblick, würde ein kleiner Luftzug entſtehen, ein Theil der in der Montgolfière enthaltenen warmen Luft wieder durch kältere erſetzt werden, und das Sinken des Ballons würde faſt augenblicklich eintreten müſſen.

So war die Regelung der verticalen Bewegung einer Carlo-Montgolfière hinreichend in die Hand des Luftſchiffers gegeben, wobei doch beachtet werden muß, daß die mit Sicherheit anzuwendende Geſchwindigkeit nur eine mäßige ſein dürfte. Oft kommt es bei der verticalen Bewegung des Luftſchiffes vor, daß daſſelbe ſich dreht. Bei ruhiger und ſelbſt bei gleichmäßig bewegter Luft kann ein ſolches

Drehen nur dadurch hervorgebracht werden, daß der Ballon bei ſeiner Bewegung dem Widerſtande der Luft eine nicht durchweg ſymmetriſche Oberfläche entgegenſetzt, dieſer Luftwiderſtand daher nicht an allen Seiten gleichmäßig wirkt. Dieſe drehende Bewegung läßt ſich dadurch wieder aufheben, daß an den beiden Endpunkten der Gondel zwei kleine ſchiefe Ebenen angebracht werden, die leicht geſtellt werden können und jedesmal ſo geſtellt werden müſſen, daß der gegen ſie wirkende Luftwiderſtand eine Drehung der Gondel in dem entgegengeſetzten Sinne von der Drehung zu erzeugen ſtrebt, welche eben vermieden werden muß. Bei der richtigen Stellung dieſer kleinen Flügel werden ſich dann beide Drehungen aufheben, und die Richtung der Gondel wird ſtabil bleiben. Der Uebelſtand wird nur der ſein, daß in dem Falle, wenn der Ballon eine Neigung zum Drehen hat, ſtets ein Luftſchiffer auf die geeignete Stellung jener Flügel ſeine Aufmerkſamkeit wenden muß. Will man abſichtlich dem Luftſchiff eine Drehung geben, ſo genügt eine von dem einen Ende der Gondel mit einem Luftruder einſeitig ausgeübte Bewegung ganz eben ſo, wie bei einer auf dem Waſſer ſchwimmenden Gondel.

Hat man nun die verticale Bewegung in ſeiner Gewalt und vermag zugleich das Luftſchiff vor einer unbeabſichtigten Drehung zu bewahren, ſo bleibt es nun noch möglich, aus jener verticalen Bewegung eine beliebige horizontale abzuleiten. Man denke ſich, wie dies von einem Engländer vorgeſchlagen wurde, zwiſchen der Charlière und der Montgolfière ein Segel angebracht, das etwa unter 45° gegen den Horizont geneigt iſt. Wird nun dem Ballon eine ſteigende Bewegung mitgetheilt, ſo muß der gegen die obere Fläche des Segels wirkende Luftwiderſtand das Luftſchiff ſeitwärts treiben und zwar nach der Weltgegend hin, nach welcher die untere Segelfläche gewendet iſt. Giebt man dem Luftſchiff eine ſinkende Bewegung, ſo muß die Wirkung gerade umgekehrt ſein, und das Luftſchiff wird nach der Seite hin gedrängt, nach welcher die obere Segelfläche hingewendet iſt. Es verſteht ſich von ſelbſt, daß, ſoll die jedesmalige Horizontalbewegung dieſelbe Richtung beibehalten, jede Drehung des Luftſchiffs vermieden werden muß. Man könnte nun durch wiederholtes Aufeinanderfolgenlaſſen von aufwärts und abwärts gerichteten Bewegungen des Ballons eine längere horizontale Seitenbewegung erzielen, müßte dann aber bei jedem Uebergange der einen Verticalbewegung in die entgegengeſetzte entweder das Segel anders ſtellen, oder, was einfacher wäre, dem Luftſchiff mittelſt eines Ruders eine halbe Drehung geben. Man ſieht aber leicht, daß dieſe Zickzackbewegung, die ähnlich dem Kreuzen der Seeſchiffe wäre, nur langſam vorwärts bringen würde und alſo zu einer regelmäßigen Horizontalbewegung kaum zu empfehlen bleibt. Daher möchte die Anwendung von Luftrudern das einfachſte und immer noch beſte Mittel ſein, um in ruhiger Luft eine Seitenbewegung hervorzubringen.

Welchen Einfluß übt aber der Wind auf den Aërostaten aus? Als gleich im Anfange der Luftſchifffahrtsverſuche die Akademie zu Lyon 1784 einen Preis auf die Löſung des Problems der horizontalen Lenkung des Aërostaten ſetzte, gab es viele Vorſchläge, die den Wind ganz eben ſo mittelſt anzubringender Segel zur Lenkung der Luftſchiffe benutzen wollten, als er wirklich die Lenkung der Seefahrzeuge bewirkt. Man verkannte dabei die weſentliche Verſchiedenheit zwiſchen Luft- und Seeſchiffen. Zweierlei macht die Benutzung des Windes zur Lenkung der Seefahrzeuge möglich, ſo daß man mit Hülfe des Windes in einer der Windrichtung zum Theil entgegengeſetzten Richtung fahren kann. Erſtens der Umſtand,

daß der Wind ſchneller weht, als das Schiff fährt, denn nur in dieſem Falle kann der Wind einen Druck gegen die Segel ausüben, und zweitens, daß das Waſſer dem Schiffsrumpfe einen Widerſtand darbietet, der die durch den Wind und die Segelſtellung des Schiffs bedingte Bewegungsrichtung nochmals abzuändern vermag. Beide Bedingungen fehlen bei dem Luftſchiff; daſſelbe ſchwimmt in der Luft, wird von ihr getragen, und weil Wind nichts weiter iſt, als bewegte Luft, ſo wird das Luftſchiff in bewegter Luft die Bewegung der letzteren theilen, ohne irgend einen Druck des Windes zu empfinden. Auch im ſchnellſten Sturme, ſofern er nur gleichmäßig weht, wird der Luftſchiffer rückſichtlich der ihn umgebenden Luft dieſelbe Empfindung haben können als in ruhiger Luft, und derſelbe Sturm, der Wälder umſtürzt und Schiffe ſcheitern läßt, wird das ſo zart gebaute Luftſchiff nicht verletzen, aber er wird es mit ſeiner eigenen Geſchwindigkeit mit ſich fort nehmen. Wenn nun der Wind keinen Druck auf ein Luftſchiff auszuüben vermag, ſo kann auch die Aufſtellung von Segeln nichts helfen.

Nutzbar kann der Wind bei der Luftſchifffahrt nur in dem einen Falle gemacht werden, wenn ſich der Luftſchiffer gerade in der Richtung des Windes bewegen will; dann braucht er nur aufzuſteigen, ſich dem Winde zu überlaſſen und am gewünſchten Orte niederzuſteigen. Die Geſchwindigkeiten, die dem Winde überlaſſene Aëroſtaten angenommen haben, waren nicht unbedeutend. So legte der Ballon, mit welchem Garnerin und der Capitän Sowdon 1802 von London nach Colcheſter fuhren, $17^1/_2$ deutſche Meile in einer Stunde zurück. Robertſon's Ballon in Hamburg durchlief 10 deutſche Meilen in einer Stunde, und ein am 16. December 1804 zu Paris aufſteigender großer Aëroſtat fiel nach 22 Stunden unweit Rom nieder.

Der Nutzen des Windes bleibt daher in der Luftſchifffahrt ſehr beſchränkt, denn ſelten wird man gerade den gewünſchten Wind zur Hand haben. Der Vorſchlag Montgolfier's, der von der Anſicht ausging, daß in verſchiedenen Luftregionen verſchiedene Winde herrſchten, ging dahin, daß der Luftſchiffer ſich bis zu der Region erheben ſollte, in welcher der ihm günſtige Wind herrſcht, doch bleibt die Ausführung immer ſchwierig und das Reſultat unſicher, ſelbſt wenn jenes gleichzeitige Vorhandenſein verſchiedener Winde ſich ſtets beſtätigen ſollte.

Will man nun mit dem Aëroſtaten eine von der Windrichtung abweichende Bewegung annehmen, ſo bleibt nichts weiter übrig als die Anwendung mechaniſcher Mittel, wie wir ſie oben für die willkürliche Bewegung in ruhiger Luft ſchon beſprochen haben. Werden dieſe Mittel angewandt, ſo wird der Ballon eine Richtung einſchlagen, die durch die Zuſammenſetzung der Windbewegung mit der dem Ballon ertheilten beſonderen Bewegung erhalten wird, und es leuchtet ein, daß die wirkliche Bewegung des Aëroſtaten um ſo weniger von der Windbewegung abweichend ſein wird, je ſtärker die letztere iſt. Die oben gefundenen Geſchwindigkeiten des Aëroſtaten für die Bewegung durch mechaniſche Mittel waren unter den günſtigſten Vorausſetzungen (75 Proc. Nutzeffect) gewonnen, und werden in der Wirklichkeit kaum annähernd erreicht werden, dennoch waren ſie viel geringer als die Geſchwindigkeit eines mäßigen Windes und bleiben ganz unbedeutend gegen die Geſchwindigkeit eines Sturmes, deshalb wird auch durch Anwendung jener Mittel nur bei gelindem Winde eine Ablenkung von der Windrichtung in einigem Belange gewonnen werden können. Nehmen wir z. B. an, es wehe ein ſanfter

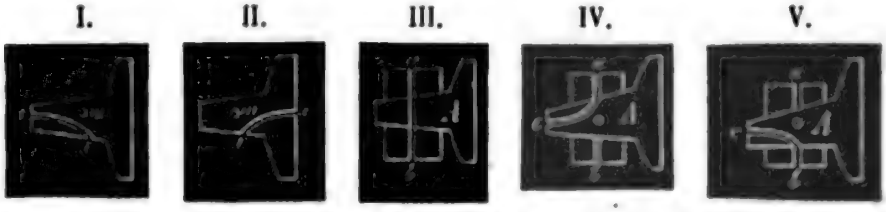
Wind von 12′ Geſchwindigkeit und es gelänge zwei Luftſchiffern wirklich, ihrem Luftball die oben berechnete Geſchwindigkeit von 5,47′ ſenkrecht gegen die Windrichtung zu geben, ſo würde dadurch eine Ablenkung von der Windrichtung um $24^1/_2{}^0$ erreicht. Aehnliche Verhältniſſe, wie die eben angenommenen, mögen wohl bei der am 19. September 1784 unternommenen Luftfahrt ſtattgefunden haben, bei welcher die Gebrüder Robert durch ihre Ruder eine Ablenkung von 22^0 erlangt haben wollen. — Nehmen wir im obigen Beiſpiele die Geſchwindigkeit des Windes zu 40′ an, ſo iſt die mögliche Ablenkung etwa $7^3/_4{}^0$, und bei 60′ Windgeſchwindigkeit nur $5^1/_4{}^0$. Zugleich erhellt jetzt, daß es ſelbſt bei ſchwachem Winde nicht ſo leicht möglich ſein wird, den Ballon nur zum Stillſtehen zu bringen, geſchweige denn ihn mit nur einiger Geſchwindigkeit gegen den Wind zu führen.

Bei Aufſtellung der obigen Formeln über die mögliche, dem Aëroſtaten durch mechaniſche Mittel zu ertheilende Geſchwindigkeit, waren wir von der Vorausſetzung ausgegangen, daß die Kraftäußerung von Gegenſtänden (lebenden Weſen oder Maſchinen) ausgehe, deren Arbeitsfähigkeit zu ihrem Gewichte in keinem auffallend günſtigeren Verhältniſſe ſtehe, als es bei dem Menſchen der Fall iſt; dieſe Vorausſetzung möchte immer noch bei den gebräuchlichen Kraftmaſchinen ſtattfinden, und ſomit wird auch von ihrer Anwendung auf die Luftſchifffahrt wenig zu erwarten ſein. Bevor nun nicht Kraftmaſchinen erfunden werden, die mit einem geringen abſoluten Gewichte doch eine bedeutende Arbeitsfähigkeit verbinden, wird die Sache der Luftſchifffahrt keine weſentlichen Fortſchritte machen können; werden ſolche Maſchinen aber erfunden, ſo wird ihre Anwendung auf Beförderung des Transports auf der feſten Erdoberfläche oder auf dem Meere vielleicht immer noch erfolgreicher bleiben, als auf die Entwickelung der Luftſchifffahrt. W. S.

Luftpumpe heißt eines der bekannteſten und wichtigſten phyſikaliſchen Inſtrumente, welches dazu dient, innerhalb eines abgeſchloſſenen Raumes die Luft zu verdünnen. Man unterſcheidet vorzugsweiſe zwei Arten von Luftpumpen, nämlich die Hahn- und Ventil-Luftpumpen.

Die Haupttheile der Hahnluftpumpe, welche beiſtehende Fig. I. in einfachſter Form darſtellt, ſind folgende. Ein inwendig gleichmäßig glatt polirter Cylinder von Metall oder von Glas, bd, welcher der Stiefel genannt wird. Ein in dieſen Cylinder genau paſſender Kolben, welcher entweder aus Metall verfertigt und der genaueren Schließung wegen mit in Oel getränktem Leder umwickelt iſt, oder aus (zwiſchen Metallplatten) zuſammengepreßten, auf der Drehbank genau abgerundeten, in Oel getränkten Lederſcheiben beſteht. Der Kolben ſitzt an einer Stange, welche entweder oben einen Griff hat, mittelſt deſſen der Kolben im Cylinder hinabgeſtoßen und heraufgezogen werden kann, oder die oben gezahnt iſt. In die Zähne der Stange greifen dann die Zähne eines Rades, und ſo wie dieſes mittelſt einer Kurbel rechts oder links herum gedreht wird, geht der Kolben hinab oder herauf. — Ein metallener ſehr ebener Teller tt, der wohl noch mit einer matt geſchliffenen Glasplatte bedeckt iſt. In der Mitte deſſelben befindet ſich eine kleine Oeffnung, die in eine Verbindungs-(Communications-)röhre f führt, welche Teller und

Cylinder verbindet, indem ſie eine Oeffnung im Boden des Stiefels mit der genannten Oeffnung im Teller in Verbindung ſetzt. — Ein Gefäß, (lat.) Recipient, gewöhnlich eine ſtarke Glasglocke r, (lat.) Campane, mit ſehr eben abgeſchliffenem Rande, welches auf den Teller geſetzt werden kann. — Ein doppelt durchbohrter Hahn h, nach ſeinem Erfinder Senguerd'ſcher Hahn genannt, welcher quer durch die Verbindungsröhre geht und dazu dient, bei einer gewiſſen Stellung Cylinder und Glocke, bei einer anderen Cylinder und atmoſphäriſche Luft, bei einer dritten endlich Glocke und atmoſphäriſche Luft in Verbindung zu ſetzen. Die eine Durchbohrung geht ſenkrecht auf ſeine Axe durch ihn hindurch und iſt in den Fig. I. und II. (durchſchnittlich) gezeichneten Hähnen durch m angedeutet. Die zweite Durchbohrung geht von einer Seitenöffnung r nach dem hinteren Theile des Hahnes (I.) oder nach deſſen Vordertheile (II.). Keine



Durchbohrung darf mit der anderen zuſammentreffen. Die verſchiedenen Stellungen des Hahnes ſind durch Fig. III., IV. und V. verſinnlicht. Es bezeichne nämlich A den Hahn, welcher ein abgeſtumpfter, oben mit einem Handgriff verſehener Kegel iſt, und a b das ebenfalls kegelförmig durchbohrte Stück der Verbindungsröhre, in welchem der Hahn ſitzt; a ſei die innere Bohrung der Verbindungsröhre, welche nach dem Innern des Cylinders führt, b die innere Bohrung der Verbindungsröhre, welche unter dem Recipienten durch den Teller geht; ſo ſtehen bei der in Fig. III. abgebildeten Stellung offenbar Recipient und Cylinder in Verbindung durch die offene Röhre a b, während die äußere Luft abgeſchloſſen iſt. Bei der durch eine Viertelsdrehung des Hahnes hervorgebrachten Stellung Fig. IV. ſteht die äußere Luft mit dem Innern des Cylinders durch den Canal c a in Verbindung, während die Luft unter der Glocke abgeſchloſſen iſt. Bei der Stellung des Hahnes Fig. V. endlich ſteht die äußere Luft mit der Luft unter der Glocke in ungehinderter Verbindung durch den Canal c b, während die nach dem Innern des Cylinders führende Mündung a verſchloſſen iſt.

Die Anwendung der eben beſchriebenen Luftpumpe iſt nun folgende. Wenn der Kolben ſich auf dem Boden des Cylinders befindet, und der Hahn ſo ſteht, daß die Verbindung zwiſchen Cylinder und Recipient hergeſtellt iſt, ſo wird beim Heraufziehen des Kolbens unter dieſem ein luftleerer Raum entſtehen. Die Luft im Recipienten und in der Verbindungsröhre dehnt ſich aber in Folge ihrer Expanſivkraft aus, geht unter den Kolben und erfüllt, natürlich mit geringerer Dichte als vorher, Recipient, Verbindungsröhre und Cylinder (Stiefel). Iſt der Kolben an der oberen Mündung des Stiefels angelangt, ſo werde der Hahn ſo umgedreht, daß die Verbindung zwiſchen dem Innern des Stiefels und der Atmoſphäre hergeſtellt, die Luft im Recipienten dagegen abgeſchloſſen iſt. Hierauf bewege man den Kolben im Stiefel herab, die Luft aus dem Stiefel entweicht dann durch den Canal des Hahnes. Der Hahn werde jetzt wieder geſtellt wie zuerſt, nämlich ſo,

Digitized by Google

daß er eine Verbindung zwiſchen Recipient und Stiefel herſtellt. Wird nun der Kolben wieder emporgezogen, ſo dehnt ſich aufs neue die Luft im Recipienten aus und erfüllt mit noch geringerer Dichte Recipient, Verbindungsröhre und Stiefel. So oft nun das eben beſchriebene Verfahren wiederholt wird, findet eine Verdünnung der Luft im Recipienten ſtatt, indem dieſelbe fortwährend erſt zur Ausbreitung in einem größeren Raum beſtimmt und nachher zum Theil ausgetrieben wird. Nach jedem Kolbengange füllt eine geringere Quantität Luft das ſich gleich bleibende Volumen des Recipienten aus, und es wird natürlich auch eine immer geringere Menge Luft ausgepumpt. Das Stück der Verbindungsröhre oberhalb des Hahnes bis zum Boden des Stiefels (Fig. I.) iſt jedesmal bei der Stellung des Hahnes, wo das Innere des Stiefels mit der Atmoſphäre in Verbindung tritt, mit Luft von der Dichte der atmoſphäriſchen erfüllt. Dieſe Quantität Luft wird beim Niedergange des Kolbens nicht ausgetrieben. Wendet man nun den Hahn, nachdem der Kolben den niedrigſten Stand erreicht, ſo, daß der Canal zwiſchen Recipient und Stiefel offen iſt, ſo breitet ſich augenblicklich die Luft, welche in dem angegebenen Raume zurückgeblieben, aus und erfüllt den Recipienten. Da jener Raum der Wirkſamkeit der Luftpumpe offenbar nachtheilig entgegen wirkt, und zwar um ſo mehr, je größer er iſt, ſo wird er der ſchädliche Raum genannt. Derſelbe wird deſto unbedeutender, in je geringerer Entfernung vom Boden des Stiefels der Hahn angebracht iſt. Man giebt gewöhnlich die äußerſte Grenze der Luftverdünnung durch den Bruch $\frac{s}{S}$ an, deſſen Zähler die Größe des ſchädlichen Raumes und deſſen Nenner der Rauminhalt des Stiefels ſammt ſchädlichem Raume iſt.

Man iſt bemüht geweſen, den ſchädlichen Raum ganz zu beſeitigen. Die erſten Vorſchläge rühren wohl von Gervinus und Parrot her *), indem ſie eine coniſche Form des Kolbens empfahlen, die bis auf den Hahn herabgehen ſollte. Hierauf benutzte Muncke dieſes Princip zur Conſtruction einer Luftpumpe ohne ſchädlichen Raum. Man macht den kleinen Canal, welcher vom Boden des Stiefels nach dem Hahne führt, kegelförmig und bringt auf dem Kolben unten einen entſprechenden Conus (Kegel) an, wie nebenſtehende Figur dies veranſchaulicht. Dann dringt der Kolben beim Herabgehen in den nicht mehr ſchädlichen Raum ein und vertreibt die Luft aus demſelben. Dieſer Vorſchlag iſt vor einiger Zeit von Ed. Schöbl **) erneuert worden. Der Boden des Stiefels wird coniſch ausgehöhlt, ſo daß die Spitze dieſer Höhlung mit dem oberen Ende der Bohrung des Hahnes zuſammenfällt. In dieſe Höhlung paßt luftdicht eingeſchliffen ein maſſiver Kegel, der die untere Platte des Kolbens vertritt, und mit ſeinem Scheitel genau bis zur Bohrung des Hahnes reicht, wie umſtehende Fig. I. im Durchſchnitt zeigt. Wird nun der Kolben herabgedrückt, ſo muß die ſämmtliche im Stiefel enthaltene Luftmaſſe durch die Bohrung des Hahnes entweichen. — Wir werden indeß ſehen, daß

*) Gött. Gelehrt. Anz. 1798. Nr. 202; Voigt, Mag Th. I. St. 2. S. 189. Th. II. St. 1. S. 182. Th. IV. St. 2. S. 234.

**) Pogg. Ann. Bd. LXXXIV. S. 344.

ſelbſt nach Beſeitigung des ſchädlichen Raumes eine abſolute Luftleere unter dem Recipienten durch die Thätigkeit der Maſchine allein nicht hergeſtellt werden kann.

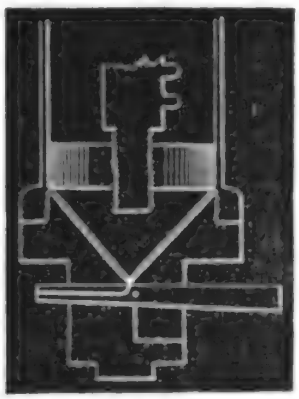
Das Auspumpen der Luft aus dem Recipienten nennt man wohl auch exantliren (v. d. griech. ἐξαντλέω, ausleeren) oder evacuiren (lat. evacuare, ausleeren).

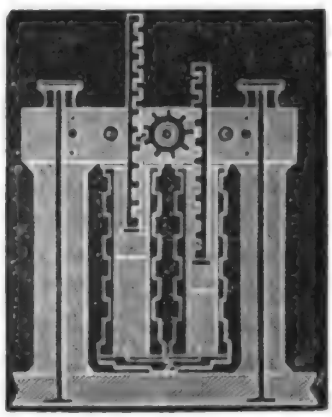
Soll nach Beendigung der im luftverdünnten Raume angeſtellten Verſuche wieder Luft unter den Recipienten gelaſſen werden, ſo giebt man dem Hahne diejenige Stellung, bei welcher das Innere des Recipienten mit der Atmoſphäre in Verbindung tritt. Alsbald bläſt Luft aus der Atmoſphäre in das Innere des Recipienten, bis die Luft in ihm wieder von derſelben Dichte wie die atmoſphäriſche Luft iſt.

Es ſei hier noch beiläufig bemerkt, daß bei vielen älteren Hahnluftpumpen ſtatt des einen Senguerd'ſchen Hahnes zwei einfache Hähne an dem Verbindungsſtücke zwiſchen Recipient und Stiefel angebracht ſind, von denen der eine den Recipienten mit dem Stiefel, der andere den Stiefel mit der äußeren Luft abwechſelnd in Gemeinſchaft ſetzt.

Eine zweiſtiefelige Hahnluftpumpe zeigt beiſtehende Fig. II. im Durchſchnitt. Die genau ausgeſchliffenen und calibrirten Stiefel beſtehen aus Meſſing,

I. II.



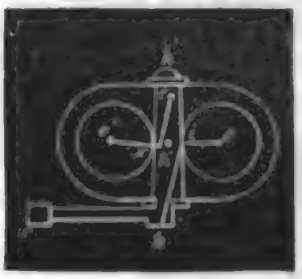


und ſind noch mit dicken, breiten Meſſingreifen umgeben. In jedem Stiefel iſt ein Kolben beweglich, der aus zuſammengepreßten, geölten Lederſcheiben zwiſchen meſſingenen Deckplatten beſteht. Die Kolbenſtangen ſind vierkantige, breite Meſſingſtäbe, welche an der ſchmalen Seite, wie man ſieht, mit Zähnen verſehen ſind. In die letzteren greift ein Treibrad ein, das mittelſt eines Haspels gedreht wird. Die Axe des Rades und Haspels beſteht größerer Dauerhaftigkeit wegen vortheilhaft aus Stahl. Wenn man nun das Rad mittelſt des Haspels dreht, ſo bewegt ſich der eine Kolben aufwärts, der andere abwärts, und ſobald der erſtere ſeinen höchſten, der letztere ſeinen tiefſten Stand erreicht hat, dreht man in entgegengeſetzter Richtung. So bewegt ſich in jedem Stiefel der Kolben bald auf-, bald abwärts. Steigt der Kolben, ſo nimmt der Stiefel Luft aus dem Recipienten auf, während im anderen Stiefel die vorher aus dem Recipienten aufgenommene Luft durch den Niedergang des Kolbens ins Freie getrieben wird. Bei der einſtiefeligen Luftpumpe wird während der Verdünnung der Luft im Recipienten das Aufziehen des Kolbens immer ſchwieriger, weil die äußere Luft immer mehr das

Uebergewicht gegen die innere erlangt. Der Niedergang des Kolbens wird freilich demgemäß auch immer leichter. Bei einer zweistiefeligen Luftpumpe hebt ſich der Druck der äußeren Luft auf den einen Kolben großentheils gegen den auf den anderen, ſo daß nur noch die Reibung als Bewegungshinderniß bleibt. Es wird aber auch bei einer Luftpumpe letzterer Art die Zeit abgekürzt, welche nöthig iſt, um einen beſtimmten Grad der Luftverdünnung hervorzubringen.

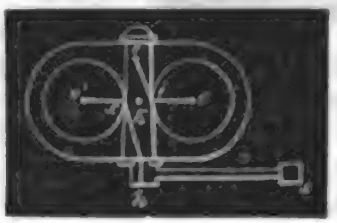
Auf dem Boden der obigen zweiſtiefeligen Luftpumpe iſt ferner eine dicke Platte von Meiſſing befeſtigt, auf welcher die Stiefel mit ihren unteren Rändern luftdicht aufgeſchliffen ſind. Dieſe Platte iſt ihrer Breite nach kegelförmig durchbohrt, und von dieſem Canal t geht innerhalb der Platte zu beiden Seiten ein aufwärts gekrümmter Canal zu den runden Löchern o, o, welche in die Stiefel münden. Bei t befindet ſich aber in jenem kegelförmigen Canal ein ſehr genau ſchließender, von Graßmann *) conſtruirter Hahn, der dreifach durchbohrt iſt, und den Zweck hat, die Wirkung des ſchädlichen Raumes in den ſeitlichen Canälen beträchtlich zu verringern. Die nebenſtehende Fig. I. zeigt dieſen Hahn im horizontalen Durchſchnitt. Die beiden Kreiſe bezeichnen die Stiefel, o und o die erwähnten runden Oeffnungen in denſelben, o i und o′ r die ſeitlichen Canäle in der Bodenplatte. h h′ iſt der kegelförmige Hahn ſelbſt, der eine Durchbohrung von i nach h und eine andere von r nach e enthält. Das Loch e durchbohrt den Hahn ſenkrecht auf ſeiner Axe, und eben ſo iſt auch bei k ein Loch, welches quer durch den Hahn hindurch geht. Von dem Loche e führt ein Rohr nach dem Teller der Pumpe in den Recipienten, deſſen Luft durch dieſes Rohr mit r und o′ in Verbindung ſteht. Der Hahn kann nun mittelſt des Hebels oder Schlüſſels h s gedreht werden. Liegt der letztere, wie hier links, und geht der Kolben im Stiefel rechts hinab, ſo entweicht die Luft aus dem letzteren durch den Canal o i h ins Freie. Die Luft im Recipienten ergießt ſich aber zum Theil durch das erwähnte Rohr und den Canal e r o′ in den Stiefel links, deſſen Kolben in die Höhe geht. Dreht man jetzt den Hahn, bis der Schlüſſel vertical aufrecht ſteht, ſo ergiebt ſich eine Stellung, wie beiſtehende Fig. II. zeigt. Der eine Stiefel ſteht nun mit dem anderen durch den Canal k in Verbindung, und die im ſchädlichen Raume o k enthaltene Luft entweicht durch k in den Stiefel links, in deſſen Raume die Luft verdünnt iſt. So wird denn auch die Luft des ſchädlichen Raumes verdünnt, und zwar um ſo mehr, je größer der Inhalt des Stiefels im Verhältniß zu dieſem Raume iſt. — Dreht man den Schlüſſel abermals um 90° weiter, wodurch derſelbe eine der anfänglichen entgegengeſetzte Lage erhält, ſo iſt die Stellung des Hahnes wie in beiſteh. Fig. III. Der Kolben im Stiefel rechts geht

I.



II.

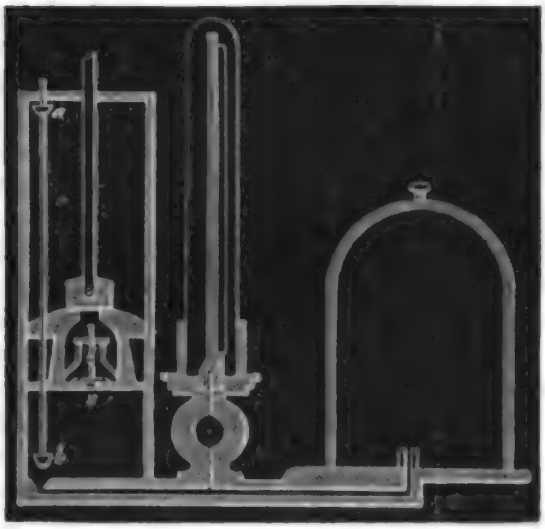
III.



*) Gilbert's Ann. Bd. LXV. S. 392.

in die Höhe, und die Luft des Recipienten ergießt ſich durch e, i und o in dieſen Stiefel, eben ſo die nun ſtark verdünnte Luft aus dem ſchädlichen Raume oi. Im Stiefel links geht der Kolben herunter, und treibt die hier befindliche Luft durch o'rh ins Freie. Es wird dann hier, ſobald der Kolben den Boden erreicht hat, o'r der ſchädliche Raum, deſſen Luft in der vorigen Weiſe verdünnt wird, wenn man den Schlüſſel um 90° zurückdreht. Dreht man aber noch 90° weiter, ſo daß der Schlüſſel wieder ſeine anfängliche Lage bekommt, ſo wiederholt ſich das beſchriebene Spiel, um die bereits verdünnte Luft von Neuem zu verdünnen. Man hält es für rathſam, den Hahn, wenn er die ſenkrechte Stellung hat, ein wenig anzuhalten, damit die Luft im ſchädlichen Raume Zeit gewinne, ſich in den luftverdünnten Stiefel zu ergießen. Gute Luftpumpen der vorbeſchriebenen Art ſind namentlich von Piſtor und Schieck verfertigt worden. Mit ſolchen Luftpumpen kann man die Verdünnung bis auf $^1/_{200}$ und ſelbſt bis auf $^1/_{300}$ der anfänglichen Dichte bringen, wenn man die Waſſerdünſte im Recipienten durch ein hineingeſtelltes Gefäß mit Chlorcalcium oder Schwefelſäure entfernt.

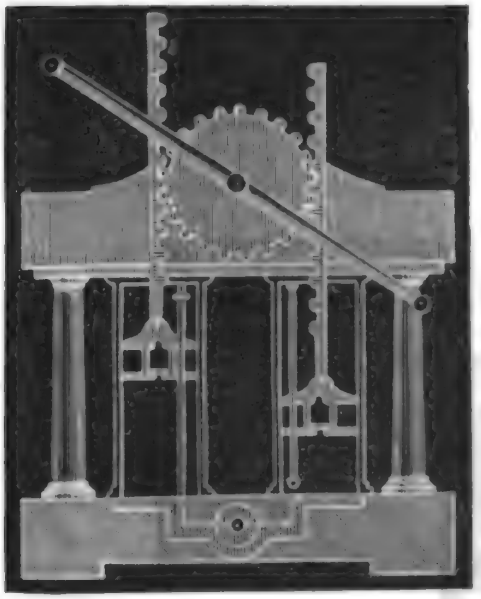
Eine Ventilluftpumpe, bei der jedoch der Gebrauch von Hähnen nicht ausgeſchloſſen iſt, zeigt beiſtehende Abbildung.



Im Stiefel ſieht man den Kolben mit dem Ventil v und einer Stange ab. Das Ventil bleibt beim Aufgange des Kolbens hermetiſch verſchloſſen, öffnet ſich aber leicht von unten nach oben, wenn der Kolben abwärts geht. Sitzt der Kolben feſt auf dem Boden des Stiefels, ſo verſchließt der abgeſtumpfte Kegel b am Ende der Stange die unter ihm befindliche coniſche Oeffnung, ſo daß die obere Fläche des Kegels mit dem Boden des Stiefels in derſelben Ebene liegt. In dem Canale, welcher den Recipienten mit dem Stiefel verbindet, befindet ſich ein Senguerd'ſcher Hahn. Wird der Kolben, wenn er auf dem Boden des Stiefels ſitzt, gehoben, ſo entſteht unter ihm ein luftleerer Raum, in welchem ein Theil der Luft aus dem Recipienten ſich verbreitet, indem mit dem Kolben auch die Stange ab gehoben wird, welche ſonſt die zum Canal führende coniſche Oeffnung ſchließt. Die Stange ſtößt aber während der Hebung des Kolbens bald mit dem Abſatze a an die obere Platte des Stiefels, worauf ſich der Kolben längs der Stange mit einiger Reibung fortbewegt. Beim Niedergange des Kolbens wird die coniſche Oeffnung wieder geſchloſſen, und die abgeſchloſſene comprimirte Luft muß dann durch das Ventil v entweichen, bis der Kolben wieder auf dem Boden des Stiefels angekommen iſt. Die Grenze der Luftverdünnung iſt hier erreicht, ſobald die Luft beim Niedergange des Kolbens das Ventil nicht mehr zu heben vermag.

Die Ventile, deren man ſich bedient, ſind Blaſen-, Taffet-, Leder- oder wohl auch Metallventile. Bei den erſteren hat der in der Mitte durchbohrte Kolben

oben einen Einſchnitt mit parallelen Kanten. Ein Streifen von Thierblaſe oder geöltem Taffet, ſo breit wie der Einſchnitt, iſt ſo befeſtigt, daß er die Durchbohrung vollſtändig bedeckt. Drückt nun die Luft von oben her gegen die Blaſe, ſo wird dieſe nur um ſo feſter in die Oeffnung gedrückt und läßt daher in dieſe keine Luft eintreten; drückt im Gegentheil die Luft von der unteren Seite gegen die Blaſe, ſo giebt die Blaſe nach und läßt die Luft durch die Ventilöffnung austreten. Oder es befindet ſich in der Höhlung des Kolbens eine leichte Klappe, welche mit ihrer unteren Fläche auf einem dünnen vorſpringenden Rand der unteren Kolbenfläche aufliegt, und deren Stiel von einem durch einen Bügel gehaltenen durchbohrten Stege gelenkt wird. Durch einen Druck von oben wird ſie geſchloſſen, durch einen Druck von unten aber geöffnet.

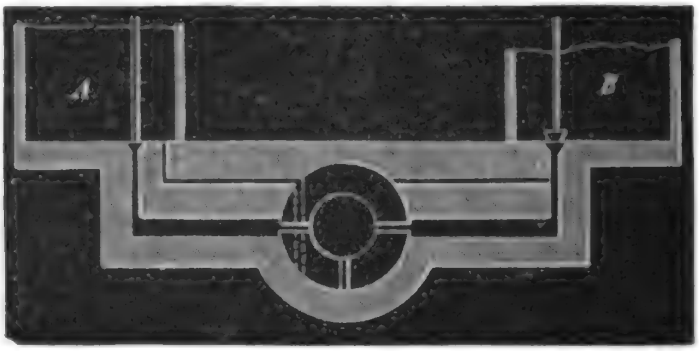


Man kann auch hier zwei Stiefel zuſammenwirken laſſen, indem man ſie ſo mit einander verbindet, daß jeder Stiefel beim Hinaufgehen des Kolbens verdünnt, während im anderen die vorher aus dem Recipienten aufgenommene Luft beim Niedergange des Kolbens hinausgetrieben wird.

Wenn der Kolben ſeinen niedrigſten Stand erreicht hat, bleibt unmittelbar unter dem Kolbenventil noch ein Raum übrig, in dem ſich ein gewiſſes Luftquantum von der Dichte der atmoſphäriſchen Luft befindet, da das Ventil bei dem vorhergehenden Kolbenſtoße ſich öffnete und der eben genannte Raum mit der Atmoſphäre communicirte. Bezeichnet man dieſen ſchädlichen Raum durch s und das erwähnte Luftquantum durch m, ſo iſt des letzteren Dichte (bei dem niedrigſten Stande des Kolbens) $= \frac{m}{s}$. Dagegen iſt die Dichte der im Stiefel enthaltenen Luft, wenn der Kolben am höchſten ſteht, $= \frac{m}{S}$, falls S den Rauminhalt des Stiefels bezeichnet, und dies iſt auch die Dichte der im Recipienten enthaltenen Luft, ſobald die Grenze der Verdünnung erreicht iſt. Anfänglich enthält alſo der Recipient Luft von der Dichte $\frac{m}{s}$, am Ende der Operation aber ſolche von der Dichte $\frac{m}{S}$. Die Grenze der Luftverdünnung wird demnach durch den Bruch $\frac{s}{S}$ ausgedrückt, und dieſe Grenze iſt erreicht, wenn die unter dem Kolben befindliche Luft beim Niedergange deſſelben das Ventil nicht mehr zu heben vermag.

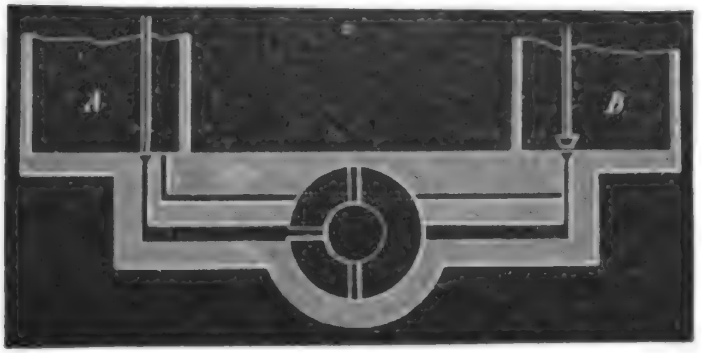
Babinet hat nun für die beſchriebene Fortin'ſche Ventilluftpumpe einen

Hahn conſtruirt, vermittelſt deſſen die Verdünnung noch beträchtlich weit über die eben angegebene Grenze fortgeſetzt werden kann. Dieſer Hahn befindet ſich da, wo die von dem Stiefel kommenden Canäle in den zum Recipienten führenden Canal einmünden. Dieſer Hahn beſitzt eine vierfache Bohrung. Ein Canal geht durch ſeine Länge und liegt in der Axe des Hauptcanals der Luftpumpe. In dieſen Längencanal münden drei Quercanäle, von denen zwei einander gegenüberliegen, während der dritte auf ihrer Richtung ſenkrecht iſt. Wenn evacuirt werden ſoll, wird der Hahn ſo gedreht, daß die beiden gegenüberliegenden Quercanäle in der Axe der Canäle liegen, welche nach den Stiefeln der Luftpumpe gehen. Der dritte Quercanal iſt dann von der Wand eines abgeſtumpften Kegels, worin der Hahn ſich befindet, verſchloſſen. Sobald nun die obige Grenze der Luftverdünnung erreicht iſt, dreht man den Hahn um 90°, wodurch der dritte Quercanal deſſelben in den Canal zu liegen kommt, welcher nach dem einen Stiefel, etwa A, (ſ. umſteh. Fig.) geht. Die beiden anderen Canäle des Hahnes ſind dann



verſchloſſen, und die Luft aus dem Recipienten kann nur in dieſen einen Stiefel gelangen. Der andere Stiefel communicirt aber jetzt nicht mehr mit dem Recipienten, ſondern mittelſt der Röhre c mit dem Stiefel A, welche (Röhre), wenn der Kolben des Stiefels B den höchſten Stand erreicht hat und dann niedergeht, verſchloſſen ſein muß. Dieſe Communication zwiſchen dem Recipienten und dem einen oder dem anderen Stiefel kann leicht vermittelſt eines kleinen durch den maſſiven Theil des Hahnes gehenden Canals bewirkt und wieder aufgehoben werden. Dieſer Hahn liegt in der Axe der Röhre, wenn der Kolben des Stiefels A am höchſten ſteht und niederwärts gehen ſoll. Steigt der Kolben des Stiefels A, ſo ergießt ſich ein Theil der noch im Recipienten enthaltenen Luft in dieſen Stiefel, nicht aber auch in den Stiefel B, da der Kolben des letzteren niederwärts geht und der damit verbundene Stab die Röhre c mit ſeinem unteren kegelförmigen Ende verſchließt. Geht dagegen der Kolben des Stiefels A niederwärts, ſo treibt er die darin enthaltene Luft durch die jetzt offene Röhre c in den Stiefel B. Hierbei bleibt das Ventil des Kolbens in A verſchloſſen, während die beſtändig in den Stiefel B getriebene Luft eine hinreichende Elaſticität erhält, um das Kolbenventil dieſes Stiefels zu öffnen und in die Atmoſphäre zu entweichen. Man wird erkennen, daß auf dieſe Weiſe die im Recipienten enthaltene Luft noch weiter verdünnt werden kann. Blickt man aber zurück auf den früher beſchriebenen Graßmann'ſchen Hahn, ſo ſieht man, daß dieſer von Anfang an in Thätigkeit iſt, indem beide Stiefel abwechſelnd zur Verdünnung

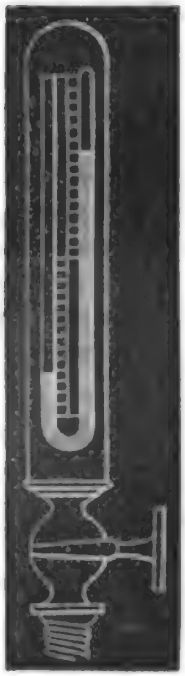
der Luft im ſchädlichen Raume beitragen, daß dagegen der Babinet'ſche Hahn erſt in Wirkſamkeit tritt, wenn bereits eine gewiſſe Grenze der Luftverdünnung



nach gewöhnlicher Weiſe erreicht iſt. Die Luft wird dann aus dem Recipienten in den einen Stiefel und aus dieſem in den anderen gebracht, um von hier in die Atmoſphäre getrieben zu werden.

Die zweite Grenze der Verdünnung, welche durch Anwendung des Babinet'ſchen Hahnes erreicht werden kann, läßt ſich auf dem Wege der Rechnung beſtimmen. Es ſei m wieder die Luftmaſſe des ſchädlichen Raumes s in dem oben angegebenen Sinne (S. 721 ff.), S der Rauminhalt des Stiefels und s' derjenige der Röhre c. Hat nun der Kolben des Stiefels B ſeinen höchſten und der in A den niedrigſten Stand erreicht, ſo iſt die Dichte der Luft in B, $= \frac{m}{s}$, und dies iſt auch, da jetzt beide Stiefel mit einander communiciren, die Dichte der Luft in dem Raume $s + s'$, welcher unter dem Kolben des Stiefels A vorhanden bleibt. Die in A enthaltene conſtante Luftmaſſe iſt deshalb $= \frac{m}{S}(s + s')$. Dieſelbe nimmt nun, wenn der Kolben dieſes Stiefels in die Höhe geht, den Raum $S + s'$ ein, und ihre Dichte iſt dann, wie auch die unter dem Recipienten, $= \frac{m}{S}\left(\frac{s + s'}{S + s'}\right)$. Die Volumseinheit des Recipienten enthielt anfänglich die Luftmaſſe $\frac{m}{s}$, nach Anwendung des Babinet'ſchen Hahnes aber, wenn dieſer keine Wirkung mehr übt, enthält ſie noch die Luftmenge $\frac{m}{S}\left(\frac{s + s'}{S + s'}\right)$. Es iſt daher die Grenze der Luftverdünnung, welche durch Anwendung des Babinet'ſchen Hahnes erreicht werden kann, $\frac{s}{S}\left(\frac{s + s'}{S + s'}\right)$. Könnte der Raum s' auf Null gebracht werden, ſo hätte man $\frac{s^2}{S^2}$, d. h. die Dichte der im Recipienten zurückbleibenden Luft würde ſich zu der, welche ohne Mitwirkung dieſes Hahnes darin zurückbleibt, verhalten, wie die Dichte dieſer letzteren zur Dichte der atmoſphäriſchen Luft. Man muß deshalb den Canal s' ſo klein als thunlich machen.

Den Druck der im Recipienten verdünnten Luft und demgemäß den Grad der Luftverdünnung erfährt man mittelſt der ſogenannten Barometerprobe, welche entweder unter die Glocke geſtellt wird oder zweckmäßiger mit der Luftpumpe in bleibende Verbindung geſetzt iſt. In dieſem Falle iſt die Barometerprobe, im Weſentlichen ein abgekürztes Heberbarometer, in einer Glasglocke eingeſchloſſen, die durch einen Hahn mit dem Recipienten in Communication geſetzt werden kann. Die beiden Schenkel des Barometers ſind von gleicher Länge, und jeder iſt etwa 4 bis 6″ lang. Der eine Schenkel iſt oben verſchloſſen und mit luftfreiem Queckſilber angefüllt, der andere aber offen. Bei dem gewöhnlichen Drucke der atmoſphäriſchen Luft iſt jener Schenkel von dem Queckſilber ganz erfüllt, da dieſes wegen der Kürze des Schenkels nicht ſinken kann; ſobald aber während der Verdünnung der Druck der umgebenden Luft ſchwächer wird, ſinkt das Queckſilber in dieſem Schenkel und ſteigt in dem anderen offenen. Der Grad der Luftverdünnung ergiebt ſich durch den Unterſchied der Queckſilberhöhen in beiden Schenkeln. Iſt dieſer Unterſchied d und der gewöhnliche Barometerſtand B, ſo iſt die Dichte der Luft im Recipienten $= \frac{d}{B}$ der äußeren Luft. Zwiſchen den Schenkeln der Barometerprobe befindet ſich eine Theilung. Könnte man die Luft aus dem Recipienten ganz entfernen, ſo müßte in beiden Schenkeln das Queckſilber gleich hoch ſtehen. Bei vielen mit der Luftpumpe anzuſtellenden Verſuchen genügt indeſſen eine Luftverdünnung, bei welcher die Differenz der Queckſilberhöhen in beiden Schenkeln etwa 1 bis $^1/_2$ Zoll beträgt, bei anderen darf ſie 1 Linie nicht überſteigen. Die Barometerprobe dient auch als Mittel, um zu erfahren, ob alle Theile der Luftpumpe, wie ſie ſollen, luftdicht ſchließen. Iſt dies nicht der Fall, tritt durch irgend welche feine Oeffnungen Luft in den Recipienten, ſo zeigt dies die Barometerprobe an, indem ſich das Queckſilber in dem verſchloſſenen Schenkel ſofort wieder hebt. Bei einer guten Luftpumpe muß die Barometerprobe nicht allein auf einen ſehr niedrigen Stand gebracht werden können, ſondern ſie muß auch auf demſelben längere Zeit verharren.



Bei manchen Luftpumpen iſt eine andere Art von Barometerprobe angebracht. Eine etwas über 28 Zoll lange Glasröhre, welche an beiden Enden offen iſt, geht mit dem einen Ende durch den Teller in den Recipienten der Luftpumpe, während das andere Ende in ein mit Queckſilber gefülltes Gefäß reicht. Bevor ausgepumpt wird, ſteht das Queckſilber in der Röhre auf demſelben Niveau wie in dem Gefäße, weil die Luft mit derſelben Kraft auf das Queckſilber in der offenen Röhre vom Recipienten aus drückt, wie auf das Queckſilber im Gefäß. Wird aber die Luft ausgepumpt, ſo vermindert ſich natürlich der Druck der Luft auf das Queckſilber in der Röhre, während der Druck auf das Queckſilber im Gefäße derſelbe bleibt. Die Folge iſt, daß ſich das Queckſilber in der Röhre gemäß dem Grade der Luftverdünnung erhebt. Könnte man den Recipienten ganz entleeren, ſo würde ſich die Queckſilberſäule bis zu 28 Zoll über das Niveau des Queckſilbers im Gefäß erheben.

Digitized by Google

Ein anderes Prüfungsmittel ist die sogenannte Birnprobe, eine unter der Glocke befindliche cylindrische, etwa 6 Zoll lange und 0,2 Linien weite, oben verschlossene Glasröhre, die sich unten in einen birnförmigen Bauch endigt. Dieselbe ist nach ihrem Inhalt von unten an in eine gewisse Anzahl von Abtheilungen getheilt, welche aliquote Theile des Ganzen von oben an gerechnet ergeben. Unter der freien unteren Oeffnung steht ein Gefäß mit Quecksilber, in welches dieselbe vermittelst eines durch die Glocke luftdicht gehenden Drahtes hinabgedrückt werden kann. Beim Auspumpen wird die Verdünnung in der Birnprobe wie unter der Glocke vor sich gehen. Drückt man dann die Oeffnung der Birnprobe vermittelst jenes Drahtes in das Quecksilber, und läßt die äußere Luft wieder unter die Glocke treten, so wird diese Luft das Quecksilber in der Röhre der Birnprobe, dem Grade der Verdünnung gemäß, in die Höhe treiben. Aus der Höhe des Quecksilbers erfährt man hier aber noch nicht ohne Weiteres den Grad der Luftverdünnung, sondern es ist noch (wegen des Quecksilbers im birnförmigen Theile) eine Correction erforderlich. Um diese jedoch zu ersparen, hebt man die Birnprobe mittelst des Drahtes wieder aus dem Quecksilber, wo dann dasselbe aus dem weiteren birnförmigen Theile ausläuft, in der engen Röhre aber hängen bleibt. Nimmt man sie nun unter der Glocke weg und hält sie horizontal, so giebt die Größe des oberen, vom Quecksilber nicht erfüllten Theils durch die aufgezeichnete Zahl den Grad der Verdünnung an. Eine weiter eingehende Betrachtung dieser Vorrichtung würde unnütz sein, da dieselbe unbequem und nicht einmal hinreichend genau ist, wie dies bereits Nairne und Cavendish dargethan *) haben.

Theoretisch läßt sich der Grad der Luftverdünnung nach der Anzahl der Kolbenzüge folgendermaßen bestimmen. Abgesehen vom schädlichen Raume sei der Rauminhalt des Stiefels (ohne Kolben) $= b$, der des Recipienten $= a$. Die Luft im Recipienten hat ursprünglich die Dichte der atmosphärischen Luft, und diese Dichte kann man $= 1$ setzen. Es befindet sich also im lufterfüllten Recipienten eine Quantität Luft von der Dichte $= 1$. Durch den ersten Kolbenhub breitet sich nun die Luft des Recipienten im Stiefelraume aus, und dieselbe nimmt folglich jetzt einen Raum $a + b$ ein. In demselben Verhältnisse aber, in welchem sich die Luft ausdehnt, vermindert sich auch ihre Dichte, und wenn wir ihre Dichte nach dem ersten Kolbenhub mit x bezeichnen, so haben wir:

$$x : 1 = a : a + b, \text{ also } x = \frac{a}{a + b}.$$

Durch das jetzt erfolgende Niedergehen des Kolbens wird die aus dem Recipienten in den Stiefel getretene Luft in die Atmosphäre getrieben, während im Recipienten Luft von der Dichte $\frac{a}{a + b}$ zurückbleibt. Beim nächsten Kolbenhub nimmt diese dünnere Luft abermals den Raum $a + b$ ein, und wir haben für die Dichte x der Luft nach dem zweiten Kolbenhub

$$x : \frac{a}{a + b} = a : a + b, \text{ folglich } x = \frac{a^2}{(a + b)^2}, \text{ und für die Dichte}$$

der Luft nach dem dritten Kolbenhube

*) Phil. Trans. for 1777. Hutton Dict. T. I. p. 56.

$$x : \frac{a^2}{(a+b)^2} = a : a + b, \text{ oder } x = \frac{a^3}{(a+b)^3}.$$

Im Allgemeinen also für die Dichte x der Luft nach dem nten Kolbenhube

$$x = \frac{a^n}{(a+b)^n}.$$

Dieſe Formel lehrt, daß ſelbſt mit der vollkommenſten Luftpumpe keine abſolute Luftleere unter dem Recipienten bewirkt werden kann. Es würde dies nur dann ſtattfinden, wenn der Rauminhalt b des Stiefels in Bezug auf den Rauminhalt des Recipienten unendlich groß wäre, ein Verhältniß, das ſich nicht realiſiren läßt. Es iſt möglich, daß ſelbſt dann, wenn die Barometerprobe keine Anweſenheit von Luft im Recipienten mehr verrathen ſollte, dennoch ſolche vorhanden iſt, aber freilich von ſo geringer Expanſivkraft, daß ſie keinen merklichen Druck mehr auszuüben vermag. — Die aufgeſtellte Formel giebt übrigens für eine gewiſſe Anzahl von Kolbenzügen einen höheren Grad der Luftverdünnung an, als in der Wirklichkeit durch dieſe Kolbenzüge erreicht werden kann, was wohl gewiß nur in der unvermeidlichen Unvollkommenheit des Apparates ſeinen Grund hat.

Nach Andrews *) läßt ſich, wenn man vorſichtig verfährt, mit geringer Mühe der Recipient ſo vollſtändig ausleeren, daß die Luft keine bemerkbare Spannkraft mehr ausübt, und das Vacuum eben ſo vollſtändig wird als das Toricelli'ſche im Barometer, in welchem auch noch etwas Luft neben einigem Queckſilberdampf vorhanden iſt, doch ſo wenig, daß die Depreſſion des Queckſilbers nur $^1/_{100000}$'' beträgt. Man ſetzt unter den Recipienten der Luftpumpe zwei offene Gefäße über einander, von denen das untere concentrirte Schwefelſäure, das obere eine dünne Schicht concentrirter Kalilauge enthält und zwar in einem Verhältniß, daß die erſtere im Stande iſt, die letztere erſt in 5 bis 6 Stunden einzutrocknen, ohne ſelbſt dadurch bedeutend geſchwächt zu werden. Nun pumpt man bis auf 0,3 — 0,4'' aus und ſchließt den Hahn unter dem Teller. Dann verbindet man die zur Einlaſſung von Luft beſtimmte Röhre mit einem Gaſometer, welches luftfreie Kohlenſäure enthält, entfernt aus den Verbindungsröhren durch abwechſelndes Auspumpen und Einlaſſen der Kohlenſäure alle Luft, und läßt nun die Kohlenſäure in den Recipienten. Iſt äußerſte Genauigkeit erforderlich, ſo wiederholt man dieſe Operation dreimal. Die Kohlenſäure, welche die rückſtändige Luft verdrängt hat, wird von der Kalilauge abſorbirt, und der Waſſerdampf von der Schwefelſäure. Als zum dritten Mal bei 0,5'' ausgepumpt war, zeigte die Barometerprobe

in 15 Minut.	einen	Druck	von	0,25''
" 30'	"	"	"	0,17''
" 80'	"	"	"	0,10''
in 200'	"	"	"	0,02''

Nach 12 Stunden war noch ein Niveauunterſchied bemerkbar, der aber nach 36 Stunden verſchwunden war. Dieſes Vacuum blieb 14 Tage unverändert.

---

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 309.

Man kann nun die Luftpumpe auch gebrauchen, wenn man die Luft in einem gegebenen Raume verdichten will. Die Hahnluftpumpen können ohne Weiteres als Verdichtungspumpen benutzt werden, falls man nur die Hähne in anderem Sinne wie bei der Verdünnung, nämlich in entgegengesetzter Richtung öffnet und schließt. Das Gefäß, worin die Luft verdichtet werden soll, muß an dem Communicationsrohre, da wo dieses aus dem Teller der Pumpe hervorgeht, aufgeschraubt werden können. Statt dessen kann freilich ein oben und unten offenes cylindrisches Gefäß, z. B. ein starker Glascylinder, auf den Teller gesetzt, oben mit einem luftdicht schließenden Deckel von Messing bedeckt, und vermittelst einer zweckmäßig angebrachten Schraube, welche auf den Deckel wirkt, fest auf den Teller gepreßt werden. Wenn nun der Kolben oben steht, so ist der Stiefel mit atmosphärischer Luft angefüllt, wie der Recipient, worin die Luft zu verdichten ist. Sei a der Rauminhalt des Recipienten, b der des Stiefels. Wird jetzt durch den Hahn die Verbindung zwischen Recipient und Stiefel hergestellt, die Atmosphäre abgeschlossen und der Kolben im Stiefel herabgedrückt, so wird die Luft aus dem Stiefel in den Recipienten getrieben, und die Luftmasse, welche vorher den Raum a + b einnahm, in den Raum a zusammengepreßt. Es verhält sich also, die Dichte der atmosphärischen Luft = 1, die Dichte der Luft im Recipienten nach dem ersten Kolbengange = x gesetzt, $x : 1 = a + b : a$, mithin $x = \frac{a + b}{a}$. Die Verdichtung geht nun weiter nach demselben Gesetze fort, welches in umgekehrter Weise für die Verdünnung gilt. Für die äußerste Grenze der Verdichtung hat man aber mit Rücksicht auf den schädlichen Raum, wenn man diesen letzteren durch s und die Größe des Stiefels sammt schädlichem Raume durch S bezeichnet, $\frac{S}{s}$, während die äußerste Grenze der Verdünnung bekanntlich (S. 717 und 721 ff.) durch den Bruch $\frac{s}{S}$ gegeben ist.

Um die Spannkraft der verdichteten Luft zu messen, kann an der Communicationsröhre ein Manometer angebracht werden, das wie die Barometerprobe durch einen Hahn mit dem Recipienten in Verbindung zu setzen ist. Dasselbe besteht aus einer doppelt gebogenen starken Glasröhre, die zum Theil mit Quecksilber gefüllt und in einer metallenen Röhre wohl befestigt ist. Oberhalb des Quecksilbers in q befindet sich Luft, die vor dem Versuche mit der atmosphärischen gleiche Dichte besitzt, so daß das Quecksilber in beiden Schenkeln gleich hoch steht. Sobald aber vom Schenkel p aus die im Recipienten verdichtete Luft auf die Oberfläche des Quecksilbers in diesem Schenkel drückt, wird das Quecksilber im Schenkel q steigen und die hier befindliche Luft zusammengepreßt werden, und zwar gewiß um so mehr, je größer die Verdichtung der Luft im Recipienten ist. Der Grad dieser Verdichtung ergiebt sich nun aus dem Raume, den die Luft über q jetzt einnimmt, im Verhältniß zu ihrem anfänglichen Volumen.

Eine gewöhnliche Ventilluftpumpe kann man zur Verdichtung der Luft nicht benutzen. Eine solche Pumpe muß zu diesem Behufe eine umgekehrte Anordnung

der Ventile haben, nämlich das Bodenventil muß ſich nach dem Recipienten zu und das Kolbenventil nach innen öffnen, oder das letztere ganz wegfallen und die Luft durch eine Seitenöffnung in den Stiefel gelaſſen werden. Auf dieſe Weiſe ſind nun meiſt die eigentlichen Verdichtungspumpen eingerichtet, worüber der Artikel Compreſſionsmaſchinen (Bd. I. S. 995) nachzuſehen iſt.

Nachdem wir nun das Weſen der Luftpumpe beleuchtet und mehrere der neueren, beſſeren Einrichtungen dargelegt haben, geben wir einen hiſtoriſchen Ueberblick, wobei wir gelegentlich noch verſchiedene andere Arten von Luftpumpen beſchreiben werden.

Als Erfinder der Luftpumpe iſt Otto v. Guerike (aus Magdeburg) bekannt. Der Stiefel ſeiner Luftpumpe hatte ein Ventil, und eine Oeffnung für einen Stöpſel; ſeine Lage war ſchief und die Geſtalt gekrümmt. Die Kolbenſtange hatte eine Handhabe, an welcher zwei Perſonen ziehen konnten. Der Recipient war eine Kugel mit einem Hahne. Mit ſeiner Luftpumpe ſtellte O. v. Guerike im Jahre 1654 auf dem Reichstage zu Regensburg öffentlich ins Große gehende Verſuche an, unter denen beſonders der Verſuch mit der ſogenannten Magdeburgiſchen Halbkugel (ſ. Art. Atmoſphäre Bd. I. S. 473) Erſtaunen erregte. Durch Caspar Schott *) lernte Robert Boyle **) die Luftpumpe kennen, und dieſer nebſt Hook gaben derſelben eine andere Geſtalt. Der Stiefel wurde lothrecht in den Ring eines Dreifußes geſtellt, und unter demſelben ein durch eine Kurbel bewegliches Getriebe angebracht, welches in eine gezahnte Stange eingriff, und vermittelſt dieſer den Kolben auf- und abwärts bewegte. Boyle wurde von den Engländern als Erfinder der Luftpumpe betrachtet, und nach ihm der luftverdünnte Raum, welcher durch die Luftpumpe hergeſtellt wird, die Boyle'ſche Leere genannt. Boyle ſelbſt aber erkannte Guerike die Ehre der Erfindung zu, obwohl er früher an die Conſtruction einer Luftpumpe gedacht hatte, vor der Ausführung indeß durch C. Schott von Guerike's Erfindung unterrichtet worden war. Joh. Chriſtoph Sturm ***) brachte in dem Kolben der Guerike'ſchen Luftpumpe ein Blaſenventil an, und ließ die Luft durch eine Röhre in der Kolbenſtange und eine Oeffnung in deren Handhabe aus dem Stiefel fortſchaffen. Dionyſius Papinus ****) bediente ſich zuerſt eines Tellers. Beſondere Anerkennung fand eine von Senguerd *****) beſchriebene Luftpumpe. Das Eigenthümlichſte an ihr iſt der oben beſchriebene, nach ſeinem Erfinder benannte doppelt durchbohrte Hahn. Hawksbee †) conſtruirte eine

---

*) Mechanica hydraulico-pneumatica. Herbipoli 1657. 4. P. II. p. 442.

**) New experiments physico-mechanical, touching the spring and weight of the air. Oxford 1660. Nova experimenta physico-mech. de vi aëris elastica, in Opp. T. I. p. 1.

***) Collegium experimentale sive curiosum. Norimb. 1676. 4. Part. I. Tent. XIII. p. 100.

****) Nouvelles Expériences du Onide à Paris 1674. 4. A continuation of the New Digestor of Bones. Lond. 1687. 4. Amst. 1688. 12. Part. II. Acta Erud. Lips. 1687. Mense Jan. p. 324.

*****) Philosophia naturalis L. B. 1685. 4. De aëris natura. Lond. 1699. 4. Auch beſchrieben in Chriſt. Wolf's nützlichen Verſuchen. Halle 1721. III Theile. 8. Th. I. S. 112. Eben ſo nebſt Beſchreibung der älteren Luftpumpen überhaupt in Dissert. de antliis pneumaticis. Auct. Henrico v. Sarden. Vitemb. 1739. 4.

†) A course of mechanical, optical, hydrostatical and pneumatical Experiments. Lond. 1709. 4. Acta Erud. Lips. suppl. T. V. p. 403.

zweistiefelige Luftpumpe, bald darauf auch Leupold, die als eine Vereinfachung der ersteren erscheint. In jedem Kolben befand sich ein Blasenventil, und ein solches auch unter jedem Stiefel in dem gemeinschaftlichen messingenen Verbindungsstück. Eine zweckmäßig construirte doppelte Hahnluftpumpe mit Selbststeuerung der Hähne wurde von s'Gravesande *) angegeben. Diese Selbststeuerung ist auch jetzt noch im Gebrauche. Nollet **) beschrieb zwei Luftpumpen, eine einfache und doppelte, von denen jedoch nur die erstere allgemeineren Eingang fand. Anerkannte Verbesserungen erhielt dann die Luftpumpe durch John Smeaton ***). Das obere Ende des Stiefels wurde mit einem Deckel verschlossen, in welchem eine Lederbüchse angebracht war, durch welche die Kolbenstange luftdicht ging. Dadurch wurde der Druck der äußeren Luft in Wegfall gebracht, und der in dem Kolben befindlichen Luft beim Herabgehen desselben ein leichterer Durchgang durch das Ventil gestattet. Der Deckel war ebenfalls mit einem Ventil versehen. Die Pumpe konnte ebensowohl zum Verdichten als zum Verdünnen der Luft benutzt werden, indem ein Hahn an derselben angebracht war, der an drei gleich weit von einander entfernten Stellen durchbohrt war, dergestalt, daß eine von den Oeffnungen stets mit dem Stiefel und eine mit der freien Luft communicirte. Hiernach war blos eine Drehung des Hahnes um 120° nöthig, um zu verdünnen oder zu verdichten. Diese Smeaton'sche Luftpumpe wurde von den englischen Künstlern Nairne und Blunt noch, namentlich ihrer äußeren Form nach, vortheilhaft abgeändert, und in dieser veränderten Gestalt von Lichtenberg ****) beschrieben. Eine sinnreich construirte, aber auch künstliche und darum etwas schwer herzustellende Luftpumpe war die von Cuthbertson *****). Dieselbe ist zweistiefelig, und hat statt der Blasen-, Kegelventile. Wie man erzählt, soll schon vor Cuthbertson im Jahre 1779 Daniel Rutherford eine Pumpe mit ganz gleichen Kegelventilen angefangen, aber nicht vollendet haben †). Die gewöhnlichen Hahnluftpumpen fanden später wieder Aufnahme durch v. Marum ††). Derselbe verband den Senguerd'schen Hahn mit einem Hebelarme, um die Drehung desselben mit dem Fuße zu bewerkstelligen. Der schädliche Raum war sehr klein. Nach einer Bemerkung von Voigt †††)

---

*) Elementa phil. nat. math. T. II. Lib. IV. cap. 4. J. v. Muſſchenbroek, Beschreibung der doppelten und einfachen Luftpumpe. Ueberſ. von Thenn. Leipzig 1785. P. v. Musschenbroek, Essay de phys. Trad. par Massuet. Par. 1739. Anhang.

**) Mém. sur les instruments, qui sont propres aux expériences de l'air. Im Mém. de l'acad. 1740 u. 1741. p. 397. Leçons de phys. exp. T. III. Leç. X. s'Gravesande, oeuvres philosophiques et mathem. Amst. 1774. T. I. No. 5. Stegmann, Beschreibung einer kleinen Luftpumpe. Caſſel 1772. Schwed. Abh. Th. XXXVI. S. 121.

***) Phil. Trans. Vol. XLVII. No. 69. p. 414. Käſtner's Anfangsgründe der Mathematik. Th. II. Abth. 1. Mechan. und opt. Wiſſ. Göttingen 1792. Taf. V. Gehler's phyſ. Wört. N. B. Bd. VI. S. 537. Marbach's phyſik. Lexik., alte Ausgabe. Bd. III. S. 458.

****) Erxleben's Anfangsgründe der Naturlehre. Vierte Aufl. Götting. 1787. Vorr. S. XL.

*****) Description of an improved Air-Pump etc. Amsterd. 1787. Sammlungen zur Phyſik und Naturgeſchichte. Bd. IV. St. 1 u. 2. Leipz. 1788. S. 83.

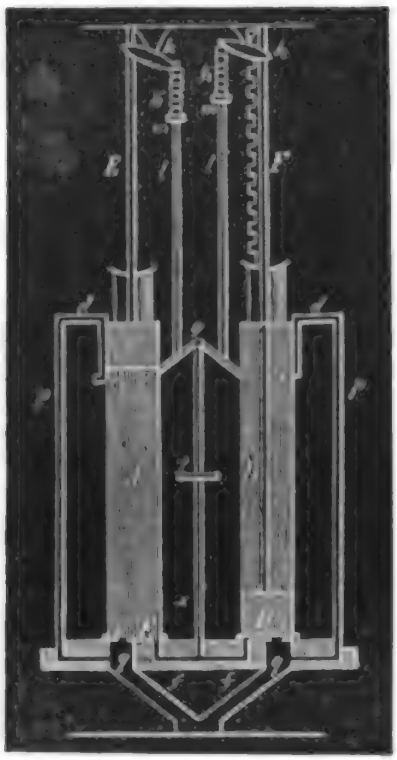
†) Encyclop. Brit. T. XV. p. 107.

††) Description de quelques appareils chimiques cet. 1798. Voigt's Mag. Th. I. St. 3. S. 156. Gilbert's Ann. Bd. I. S. 379.

†††) Mag. Th. I. St. 3. S. 168.

ſoll Schröder ſchon früher den ſchädlichen Raum beſeitigt haben, indem er dem Kolben unten eine ſphäriſche Form gab, und hier einen Stift befeſtigte, welcher bis auf den Hahn herabging. Der Vorſchlag, den ſchädlichen Raum durch einen coniſchen Kolben, der bis auf den Hahn herabgeht, gänzlich zu beſeitigen, iſt ſchon beſprochen worden (S. 714).

Schrader*) ſtellte wohl zuerſt eine Luftpumpe mit doppelter Wirkung eines Stiefels her. Hier bewirkt nämlich ſowohl das Niedergehen als auch das Aufſteigen des Kolbens Verdünnung der Luft. Eine zweiſtiefelige Luftpumpe mit einer derartigen Wirkung hat Partington angegeben, die ſich durch ſchnelle Wirkſamkeit auszeichnen ſoll **). Die Kolben C und D in den Stiefeln A und B ſind maſſiv. Die Kolbenſtangen E und F gehen durch Stopfbüchſen, welche oben mit Oel angefüllte Schalen tragen. In jedem Stiefel ſieht man oben zwei Canäle, von denen der eine von o nach d, p und q und von hier nach der äußeren Atmoſphäre geht. Bei d beſitzt dieſer Canal ein Blaſenventil, welches ſich nach p hin öffnet. Der andere Canal erſtreckt ſich von a nach g, und mündet hier in das Rohr, welches zum Recipienten führt. Jeder Stiefel hat auch auf dem oberen Theil ſeines Bodens zwei Blaſenventile b u. E links, u. b u. D rechts; jenes öffnet ſich nach außen, dieſes nach innen. Durch die beweglichen Stangen l l laſſen ſich die Canäle g a öffnen und ſchließen. Von dem Rohre, das zum Recipienten führt, geht bei b ein Rohr x nach der Bodenplatte herab in den horizontalen Canal ff, welcher die Oeffnungen E, D mit einander verbindet. Zwei um eine feſte Axe bewegliche, zweiarmige Hebel h h werden von den Kolbenſtangen durch Reibung gehoben und geſenkt. An dem einen Arme haben dieſe Hebel Spiralfedern k k, welche in einer Hülſe m m endigen und durch dieſe mit den Stangen l l zuſammenhängen. Mit der einen Kolbenſtange ſenkt ſich deshalb zugleich die damit verbundene Ventilſtange, ſchließt das Ventil und damit auch den Canal g a. — Sobald nun das Pumpen beginnt, bewegt ſich der Kolben C herab und D hinauf. Währenddem öffnet ſich der Canal g a nach dem Stiefel A und der andere Canal g a ſchließt ſich nach B hin. Die Luft aus dem Recipienten tritt dann nur in den Stiefel A durch g a, und zwar über dieſen Kolben, ſobald dieſer ſo weit herab iſt, daß der Canal g a frei wird. Außerdem geht aber Luft aus dem Recipienten durch g, die Röhre x, den Canal f und das Ventil D in den Stiefel B unter den



*) Beſchreibung einer neuen und vollkommeneren Einrichtung der Luftpumpe. Flensburg und Leipzig 1791. Gren's Journal der Phyſik. Bd. III. S. 337.

**) Manuel of naturel and experimental philosophy. T. I. p. 109. Zeitſchrift für Phyſik u. Math. Wien 1829. Th. VI. S. 89.

Kolben. In beiden Stiefeln vergrößert ſich der dieſe Luft enthaltende Raum während der Bewegung der Kolben; daher wird dieſe Luft verdünnt. Die unter C befindliche Luft wird aber von dieſem Kolben verdichtet, ſchließt deshalb das Ventil E, und entweicht durch b, q nach außen, ſo lange bis der Kolben den freien Boden erreicht hat. Die Luft über dem Kolben D wird von dieſem gleichfalls fortgetrieben, und da das Ventil bei a durch die Stange geſchloſſen iſt, ſo kann ſie nicht nach dem Recipienten zurückkehren, ſondern geht durch o, öffnet ſich bei d das Blaſenventil, und ergießt ſich durch p nach q ins Freie. Derſelbe Verlauf findet ſtatt, wenn die Kolben im entgegengeſetzten Sinne ſich bewegen; es geſchieht dann im Stiefel B daſſelbe, was zuvor in A geſchah, und umgekehrt. — Dieſe Pumpe verhält ſich wie eine einfach wirkende, wenn nur die oberen Ventile thätig ſind, und man kann dann den Hahn t am Rohre x ganz abſperren, falls eins der unteren Ventile ſchadhaft geworden iſt. Sollte aber eins der oberen Ventile unwirkſam ſein, ſo löſt man die Hülſen m m aus, und es ſind dann nur die unteren Ventile thätig. Mit dieſer Pumpe, die ſchnell einen luftverdünnten Raum ſchafft, kann die Verdünnung ſo lange fortgeſetzt werden, als die von dem Kolben zuſammengepreßte Luft noch fähig iſt, die Ventile b und d zu heben, demnach ſo lange als dieſe Luft noch etwas dichter wird, als die äußere atmoſphäriſche.

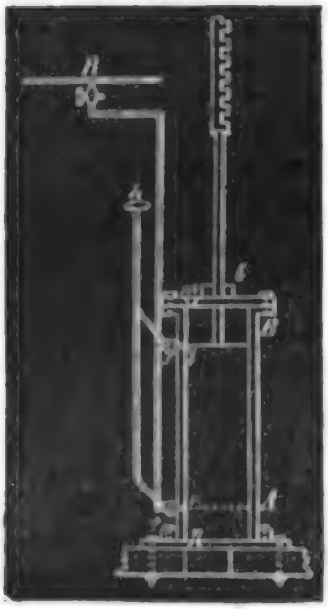
Gervinus *) brachte einen Mechanismus mit einer Hahnluftpumpe in Verbindung, um mit einer ſolchen die beſchriebene doppelte Wirkung zu erzielen. Eine Hahnluftpumpe, bei welcher der ſchädliche Raum vermieden und bei der eine bequeme Steuerung der Hähne angebracht iſt, die auch mit jedem ihrer Stiefel doppelte Wirkung hervorbringt, hat Muncke **) beſchrieben. Auch Mohr hat mehrere doppelt wirkende Luftpumpen vorgeſchlagen, die ſich durch eine gewiſſe Einfachheit empfehlen. Bei der einen iſt der Stiefel A B (ſ. beiſtehende Figur) oben und unten flach abgeſchliffen, ſo daß unmittelbar die flachen Endſtücke, mit etwas Fett daran, durch Schrauben befeſtigt werden. In beiden Endſtücken befinden ſich Kegelventile m und n, nach außen beweglich, von denen das obere m durch ſein eigenes Gewicht, das untere n aber durch eine aufwärts wirkende Feder angedrückt wird. Der maſſive Kolben k iſt an beiden Enden ganz flach, und bewegt ſich mit einer genau cylindriſchen Stange luftdicht durch die Stopfbüchſe b b. An den Endſtücken befinden ſich außerdem die von innen nach außen ſich verengenden coniſchen Oeffnungen o und p, worin die Enden des Stangenventils e f luftdicht einpaſſen. Die an o und p befeſtigten Leitungsröhren führen von g gemeinſchaftlich zum Recipienten. Das Stangenventil e f bewegt ſich mit harter Reibung luftdicht durch den Kolben k. Wenn nun zuerſt der Kolben von oben nach unten bewegt wird, ſo zieht er die Stange e f anfangs mit; dadurch wird die Oeffnung o frei und die Luft ſtrömt aus dem Recipienten in den Stiefel; ſo wie aber das untere Ende der Stange

*) Voigt, Mag. Bd. IX. S. 517.
**) Gehler's phyſ. Wörterb. N. B. Bd. VI. S. 556 ff. Marbach's phyſ. Lex. alte Ausg. Bd. III. S. 465.

e f die coniſche Oeffnung bei p geſchloſſen hat, gleitet der Kolben an der Stange weg. Die unter dem Kolben enthaltene atmoſphäriſche Luft iſt durch das Ventil n entfernt worden. Beim Rückgange des Kolbens nach oben wird zuerſt die Oeffnung bei p frei und die bei q geſchloſſen, und die bei der erſten Verdünnung in den Stiefel gebrachte Luft wird durch das Ventil m entfernt, während Luft aus R durch p unter den Kolben tritt, u. ſ. f.

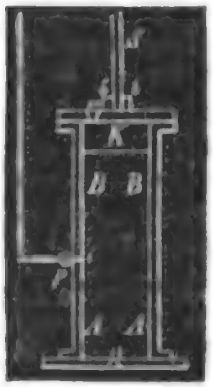
Eine andere Vorrichtung von demſelben iſt folgende. A B (ſ. Fig. I.) iſt der Stiefel, worin ſich ſeitwärts bei q und r kleine Oeffnungen befinden, in Verbindung mit den einfach durchbohrten Hähnen s und t, welche gemeinſchaftlich bei h geſteuert werden. Es befinde ſich nun der Kolben oben, der Hahn s ſei geöffnet, t aber geſchloſſen, ſo wird durch Hinabdrücken des Kolbens die Verdünnung durch s erfolgen und die atmoſphäriſche Luft durch n entweichen. Bei r wird ein kleiner ſchädlicher Raum abgeſchloſſen, welcher ſich, wenn der Kolben an ihm vorbei iſt, in den Stiefel und durch s auch in den Recipienten verbreiten wird. Nun werden die Hähne gedreht, ſo daß t offen und s verſchloſſen iſt, und die bei der erſten Verdünnung in den Stiefel gelangte Luft wird durch m entleert. Der ſchädliche Raum bei q wird ſich nun ebenfalls dem Stiefel und durch t auch dem Recipienten mittheilen. Es wird aber endlich ein Punkt der Verdünnung kommen, wo der Kolben an den Oeffnungen q und r vorbeigegangen ſein wird, ehe die Luft im Stiefel die Dichte der atmoſphäriſchen Luft erlangt hat, und von dieſem Punkte an werden die ſchädlichen Räume bei q und r mit verdünnter Luft abgeſperrt.

I.



Noch einfacher iſt folgende Luftpumpe von Mohr. Es befindet ſich auf der Mitte der Höhe des Stiefels eine einzige Oeffnung i, welche durch den einfach durchbohrten Hahn p zu reguliren iſt. Alles andere iſt wie bei der ſo eben beſchriebenen Maſchine, und das Spiel folgendes. Der Hahn p iſt während jeder Bewegung des Kolbens geſchloſſen. Wird der Kolben hinabgeſtoßen, ſo wird der ganze Stiefel luftleer, und durch eine kurze Oeffnung des Hahnes tritt die Luft aus dem Recipienten in den Stiefel. Der Hahn wird ſogleich wieder geſchloſſen und der Kolben aufwärts bewegt, wobei er die Luft der erſten Verdünnung durch m austreibt. Es wird nun der Hahn wieder einen Augenblick geöffnet ꝛc. Durch eine Selbſtſteuerung kann es leicht dahin gebracht werden, daß der Hahn ſich dann öffnet, wenn der Kolben eben vor der Oeffnung i iſt, wodurch man ſowohl des Oeffnens, als auch des Abwartens der gleichmäßigen Vertreibung überhoben iſt.

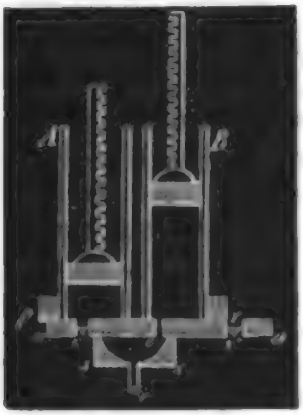
II.



Fortin hat auch eine Luftpumpe mit einem Scheiben- oder Schieberventil

conſtruirt *). A und B (ſ. Fig. I.) ſind die Stiefel mit den maſſiven Kolben, an welchen ſich gezahnte Stangen befinden. Die Stiefel ſtehen in der gemeinſchaftlichen Bodenplatte p p. Unter der letzteren iſt eine bewegliche Platte a a angebracht, in welcher bei v und v' zwei Kegelventile und ein Loch o befindlich ſind. Dann iſt unter dieſer Platte noch ein Bodenſtück s s befeſtigt, in welcher die Höhlung unter o durch den Canal r mit dem Recipienten in Verbindung ſteht. Wenn nun der Kolben in B aufſteigt, ſo geht die Luft aus dem Recipienten durch o in den Stiefel B, während die Luft in A von dem hier niederſteigenden Kolben durch v ausgetrieben wird. Sobald dieſer Kolben unten angelangt iſt, wird die Platte a a nach links geſchoben, wodurch o unter den Stiefel A, v' unter B und v außerhalb des Stiefels A zu liegen kommt. Der Recipient ſteht alſo jetzt durch o mit A in Verbindung, ſo daß ſeine Luft beim Aufſteigen des Kolbens in A hier verdünnt, während der niedergehende Kolben in B die Luft durch v' ins Freie treibt. Nach Biot ſoll dieſe Luftpumpe ſehr wirkſam ſein.

I.



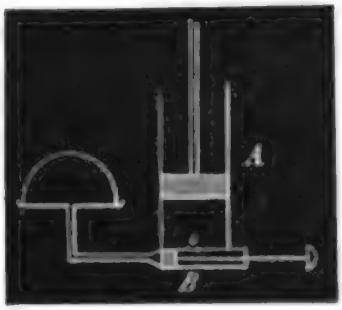
Die einfachſte Luftpumpe iſt wohl die von Ritchie **), welche beiſtehende Fig. II. im Durchſchnitte darſtellt. F iſt der auf dem Teller ſtehende Recipient, welcher durch eine rechtwinklig umgebogene Röhre R mit dem Stiefel A communicirt. Dieſes Verbindungsrohr mündet in einer Höhe vom Boden des Stiefels, welche der Dicke des Kolbens gleich kommt. Die Kolbenſtange bewegt ſich in einer Stopfbüchſe, neben welcher eine Oeffnung im Deckel des Stiefels angebracht iſt. Wird nun der Kolben vom Boden aufwärts gezogen, ſo treibt er die Luft über ihm durch die Oeffnung E ins Freie, während ſich unter ihm die Luft (aus dem Recipienten) ausdehnt. Sobald der Kolben oben angelangt iſt, legt man den Finger auf die Oeffnung E, und treibt den Kolben wieder hinab. Es entſteht dann über ihm ein luftleerer Raum, in welchen ſich die beim Herabgehen des Kolbens auf ihr voriges Volumen zuſammengepreßte Luft des Recipienten ergießt, ſobald der Kolben bis unter C herabgekommen iſt. Nun zieht man den Kolben etwa um ſeine Dicke wieder in die Höhe, und zieht dann den Finger von E hinweg. Die über dem Kolben befindliche Luft wird hierauf von demſelben durch die Oeffnung E ins Freie getrieben u. ſ. f.

II.

Eine gleichfalls ſehr einfache, hierher gehörige Luftpumpe hat Buchanan ***) angegeben. Ein verticaler Stiefel A (ſ. umſtehende Figur) iſt mit einem verhältnißmäßig ſehr kleinen horizontal liegenden Stiefel B verbunden, dergeſtalt, daß die inneren Räume beider Stiefel durch eine Oeffnung o mit einander communiciren können. Von dem kleineren Stiefel führt eine Röhre zum Recipienten. In beiden Stiefeln befinden ſich maſſive Kolben, deren Stangen ſich

*) Biot, Traité etc. T. I. p. 138.
**) Edinb. phil. Journ. New Ser. No. 1. p. 112.
***) Edinb. Journ. of science. No. XI. p. 133.

ohne Stopfbüchſen bewegen. Befindet ſich nun der Kolben in A auf dem Boden, ſo wird, wenn man den Kolben in B hervorzieht, die Luft aus dem Recipienten durch die Oeffnung o in den Stiefel A ſich ergießen, ſobald der Kolben in dieſem letzteren aufwärts bewegt wird. Schiebt man jetzt den Kolben B in den kleinen Stiefel wieder hinein, ſo iſt der Recipient von dieſem Stiefel abgeſperrt, und die Luft in A wird durch den Niedergang des großen Kolbens durch die Oeffnung o ins Freie getrieben ꝛc. Die Bewegung der verticalen Kolbenſtange in A kann, wenn man will, in bekannter Weiſe durch Rad und Getriebe geſchehen. Buchanan hat auch für die Bewegung der horizontalen Kolbenſtange, die man ſonſt mit der Hand vollführen muß, einen beſonderen Mechanismus, und nebenbei noch andere Modificationen vorgeſchlagen, durch deren Ausführung aber dieſe Luftpumpe an Einfachheit ſehr verlieren würde.



Man ſpricht auch von Luftpumpen ohne Stiefel und verſteht darunter die ſogenannten hydrauliſchen, bei welchen der leere Raum, in den ſich die Luft des Recipienten ausbreiten ſoll, um dann ausgetrieben zu werden, nicht durch einen zurückgehenden Kolben, ſondern durch eine tropfbare Flüſſigkeit hergeſtellt werden ſoll, etwa in ähnlicher Weiſe wie der leere Raum im Barometer. Steht alſo mit dem Recipienten eine verticale Röhre mit irgend einer Flüſſigkeit in Verbindung, ſo wird durch das Sinken dieſer Flüſſigkeit ein leerer Raum entſtehen, in den ſich die Luft des Recipienten theilweiſe ergießen kann. Der Hauptmangel aller hydrauliſcher Luftpumpen iſt, daß die gewählten Flüſſigkeiten weder ſelbſt luftfrei ſind, noch luftdicht an die Wandungen der Gefäße ſich anſchließen. Waſſer giebt ſehr leicht Dämpfe ab, und kann ſchon um deſſentwillen nicht wohl gebraucht werden. Auskochen des Queckſilbers, wie bei der Füllung der Barometerröhren, iſt eben ſo wenig anwendbar. Dazu kommt, daß dieſe Pumpen, welche viel weniger leiſten als die anderen bisher beſchriebenen, meiſt etwas langwierig zu gebrauchen ſind. Die erſte Queckſilber-Luftpumpe iſt von E. Schwedenborg *) angegeben worden. Alsdann wurden ſolche Pumpen auch von Baader **), Hindenburg ***), Kemp ****), Patten *****), Uthe †), Edelkranz und Rommershauſen ††) conſtruirt. Aehnlichkeit mit der Queckſilberluftpumpe von Kemp hat die Oelluftpumpe von Sadler †††). Wir geben hier beiſpielsweiſe eine Beſchreibung von Baader's hydrauliſcher Luftpumpe.

---

*) Miscellanea observata circa res naturales, et praesertim circa mineralia, ignem et montium strata. Lips. 1722. Gren's Journ. Bd. IV. S. 407.

**) Hübner's phyſ. Taſchenbuch. Salzb. 1784. S. 650. Lichtenb. Mag. Th. V. St. 2. S. 91.

***) Antliae novae hydraulico-pneumaticae mechanismus et descriptio. Lips. 1787. Lichtenb. Mag. Th. V. St. 2. S. 81.

****) Edinb. Journ. of nat. and geol. No. VIII. p. 95. Wiener Zeitſchrift. Bd. VIII. S. 193.

*****) Ann. of Phil. 1824. Oct. p. 255.

†) Dingler's polyt. Journ. Bd. XVII. S. 272.

††) Kaſtner's Archiv. Bd. XV. S. 1.

†††) Gilbert's Ann. Bd. I. S. 352.

r in beiſtehender Figur iſt der Recipient, s ein Senguerd'ſcher Hahn und h ein Röhrchen mit einem gewöhnlichen Hahne. Wird nun, wenn h geſchloſſen iſt, der Hahn s ſo gedreht, daß der Recipient abgeſchloſſen wird, die Kugel k aber mit der äußeren Luft communicirt, und wird in den Trichter t Queckſilber gegoſſen, ſo ſteigt es in beiden Röhren gleich hoch, während aus der Röhre m n durch s die Luft entweicht. Man füllt auf dieſe Weiſe das Queckſilber bis über die Kugel k ein. Dann dreht man den Hahn ſo, daß der Recipient mit der Kugel k communicirt, und öffnet den Hahn h. Das Queckſilber fließt nun durch h aus, indem es in der Röhre m n fällt. Die Luft ergießt ſich jetzt aus dem Recipienten zum Theil in die Kugel und wird alſo verdünnt. Man ſperrt durch die Drehung des Hahnes s den Recipienten r wieder ab, ſchließt auch den Hahn h, gießt von Neuem Queckſilber in den Trichter, und verfährt wie vorher. Baader gab ſpäter dieſem Apparat eine Einrichtung, vermöge deren die Röhre p q abwechſelnd in die verticale Lage p q und in die horizontale p' q' gebracht werden konnte, wodurch der Hahn h entbehrlich wurde.

Es giebt noch verſchiedene andere Mittel und denſelben entſprechende Vorrichtungen, um einen luftverdünnten Raum herzuſtellen. Dieſe Vorrichtungen können jedoch nur im uneigentlichen Sinne Luftpumpen genannt werden. So kann man, wie ſchon Papinus fand, die Luft durch Waſſerdämpfe aus einem Gefäße ſo weit als thunlich austreiben und dann durch Abkühlung ein Vacuum erzeugen. Wilke *) conſtruirte nach dieſem Princip eine Maſchine, die jedoch große Unbequemlichkeit darbietet, eben ſo Berretrai **). Man kann auch aus einem Gefäße, einer Metallkugel mit Röhre und Hahn die Luft durch Erhitzen theilweiſe austreiben, und dann auf einen Teller, der an der Röhre befeſtigt iſt, einen Recipienten ſtellen. Die Luft wird ſich dann aus letzterem zum Theil in jene Kugel ergießen, wenn man dieſelbe hinreichend abkühlt. Eine bedeutende Luftverdünnung läßt ſich indeſſen auf dieſe Weiſe, die Kaſtner in Vorſchlag brachte, nicht erzielen. Fontana beobachtete, daß glühende Kohlen beim Erlöſchen ſehr viel Luft abſorbiren. Hierauf geſtützt machte Ingenhous den Vorſchlag, man ſolle den Recipienten mit einem metallenen Gefäße, das mit glühenden Kohlen angefüllt ſei, verbinden und auf daſſelbe einen Deckel mit einem Rohre, Teller und Recipienten legen. Die Kohlen werden dann erlöſchen, viel Luft abſorbiren und demgemäß einen luftverdünnten Raum hervorbringen, wenn der Recipient durch einen Hahn mit dem Gefäß communicirt. Aber auch auf dieſe Weiſe läßt ſich keine bedeutende Luftverdünnung bewirken, wohl aber nach Brunner dadurch, daß man die Luft durch Kohlenſäure oder Ammoniak aus einem Gefäße möglichſt austreibt, und dann die Kohlenſäure durch Kalkhydrat oder das Ammoniak durch Kohlenſäure abſorbiren läßt ***).

Die zahlreichen gewöhnlichen Verſuche, welche man mittelſt der Luftpumpe anſtellen kann, um die phyſikaliſchen Eigenſchaften der Luft darzuthun, ſind im

*) Abhandl. der königl. ſchwed. Acad. d. Wiſſ. 1769. Bd. XXXI. S. 314.
**) Journ. de phys. T. XXXVIII. p. 150. Gren's Journ. d. Phyſ. Bd. VI. S. 86.
***) Pogg. Ann. Bd. XCIV. S. 523.

Art. Atmoſphäre (Bd. I. S. 465 bis 476) beſchrieben. Anderweitige Anwendungen finden ſich in den betreffenden Artikeln angegeben.

Luftſpiegelungen ſind Bilder in der Luft von Gegenſtänden, welche häufig im Originale dem Beobachter nicht ſichtbar ſind. Obgleich dieſelben ſchon in älteren Zeiten häufig beobachtet worden ſind *), ſo wurden ſie doch erſt ſeit der franzöſiſchen Expedition nach Egypten (1798) Gegenſtand wiſſenſchaftlicher Unterſuchungen. Dieſe Erſcheinungen beſtehen im Allgemeinen darin, daß man von entfernten Gegenſtänden einfache oder doppelte, entweder aufrechte, oder verkehrte, oder verſchobene Bilder wahrnimmt. Man ſieht ſie vorzugsweiſe auf ausgedehnten Ebenen und auf der See. Von den Seeleuten wird die Erſcheinung Kimmung, Erhebung oder Seegeſicht genannt.

Der Boden von Nieder-Egypten iſt eine außerordentlich große, wagrechte Ebene, auf welcher ſich nur einige mit Dörfern beſetzte Anhöhen befinden, welche durch dieſe Lage gegen die Ueberſchwemmungen des Nils geſchützt ſind. Abends und Morgens erſcheint die Landſchaft ſo, wie es die wirkliche Lage, Größe und Entfernung der Gegenſtände mit ſich bringt. Am Tage aber, wo der Boden von der Sonne erhitzt wird, ſcheint das Land in einer gewiſſen Entfernung durch eine allgemeine Ueberſchwemmung begrenzt zu werden. Die über dieſe Grenze hinausliegenden Dörfer erſcheinen wie Inſeln in einem großen See. Unter jedem Dorfe ſieht man deſſen umgekehrtes Bild, ganz ſo wie es erſcheinen würde, wenn es wirklich am Waſſer läge. Nähert man ſich, ſo rücken die Grenzen dieſer ſcheinbaren Ueberſchwemmung weiter hinaus; der das Dorf umgebende eingebildete See zieht ſich zurück, verſchwindet endlich ganz und die Täuſchung erneuert ſich für ein anderes entfernteres Dorf.

Die Luftſpiegelung iſt auch in den Ebenen Perſiens und Nubiens **) nicht ſelten; ſie heißt bei den Perſern Sirrab, während ſie von den Arabern Serab genannt wird.

Woltmann ***) beobachtete ähnliche Erſcheinungen zu Cuxhaven. Entfernte, nahe am Horizont gelegene Gegenſtände ſchienen durch einen hellen Lichtſtreif oder gewiſſermaßen durch einen glänzenden leeren Raum von der Erdoberfläche getrennt zu ſein. Dieſer Raum machte, falls das Auge hinreichend erhoben war, den Eindruck eines glänzenden Meeres über der Landſchaft. Woltmann ſah dann durch ein Fernrohr unter den entfernten Gegenſtänden ein umgekehrtes Bild. Je entfernter die Gegenſtände waren, deſto breiter erſchien der helle Streif. Rückte der Gegenſtand bei unverändertem Stande des Auges näher, ſo verſchwand der Streif allmälig, während auch das Bild, und zwar zunächſt an ſeinem unteren Theil, abnahm. Die Bilder zeigten auch, namentlich an hellen, warmen Tagen, wenn die Oberfläche der Körper erhitzt war, eine zitternde Bewegung.

Biot und Matthieu ſtellten Beobachtungen über Luftſpiegelung bei Dünkirchen am Ufer des Meeres an, auf der ſandigen Ebene, welche ſich vom Fuße des Fort Risban ausdehnt. Biot zeigte, daß, wenn man von einem

*) Gilbert's Ann. Bd. LVIII. S. 19. Busch: Tractatus duo optici argumenti. Hamb. 1783. Gruber: phyſikaliſche Abhandlung über die Strahlenbrechung. Dresden 1787.

**) Mém. sur l'Egypte. Par. l'an. VIII. T. I. p. 64. Burkhardt: Reiſe in Nubien. S. 265. 524.

***) Gilbert's Ann. Bd. III. S. 397.

Punkte T (ſ. beiſtehende Figur) in einiger Entfernung von dem Beobachter ausgeht, man eine krumme Linie T B bemerken kann, von der Art, daß alle Punkte unterhalb derſelben unſichtbar bleiben, während alle Punkte oberhalb derſelben,

bis zu einer gewiſſen Höhe, zwei Bilder geben, das eine gewöhnlich und direct, das eine außergewöhnlich, unterhalb und verkehrt. Auf dieſe Weiſe bietet ein Mann, welcher vom Punkte T ausgehend ſich vom Beobachter entfernt, dem letzteren nach und nach diejenigen Erſcheinungen dar, welche die Figur angiebt *).

Genauere Unterſuchungen über Luftſpiegelung wurden auch von Brandes angeſtellt **). Derſelbe bemerkte an ſchwülen gewitterhaften Tagen, und zwar meiſt gegen Abend, am oldenburgiſchen Ufer der Nordſee jenſeits des Waſſers entfernte, ſonſt nicht ſichtbare Gegenſtände, von denen manche ein umgekehrtes, auch wohl ein zweifaches Bild über ſich hatten. Dagegen ſah er an kühlen Sommertagen die Gegenſtände am jenſeitigen Ufer in ihrer natürlichen Geſtalt, aber ſie ſchienen oberhalb des Waſſerhorizontes in der Luft zu ſchweben, und wenn man ſie mit dem Fernrohre genauer betrachtete, ſo ſah man, daß der Gegenſtand zwar in ſeiner natürlichen Geſtalt erſchien, aber unterhalb ſich wie geſpiegelt zeigte, ſo daß ein umgekehrtes Bild des Gegenſtandes, ſeine untere Seite unmittelbar berührend, geſehen wurde. Die auf- oder untergehende Sonne bot bei dieſer Beſchaffenheit der Luft, indem ſie über dem Waſſerhorizonte hervorkam, ähnliche Erſcheinungen dar.

Außerordentliche Erſcheinungen wurden in England wahrgenommen. Von Haſtings, an der Küſte von Suſſex, ſind die Klippen an der franzöſiſchen Küſte funfzig engliſche Meilen entfernt, und werden von der Krümmung der Erde verborgen. Den 26. Juli 1798 gegen 5 Uhr Nachmittags ſah Latham ***) zu Haſtings eine große Menſchenmenge nach dem Meeresufer eilen. Auf ſeine Erkundigung nach der Urſache hiervon wurde ihm geantwortet: man könne die franzöſiſche Küſte mit bloßen Augen ſehen, und er begab ſich ſogleich dahin. Er ſah deutlich die Klippen ſich einige Meilen längs der franzöſiſchen Küſte ausdehnen, und ſie erſchienen ſo, als wenn ſie nur wenige Meilen entfernt wären. Nach und nach ſchienen ſie ſich mehr und mehr zu heben und dem Auge näher zu treten. Dieſe Erſcheinungen dauerten etwa eine Stunde, die Klippen ſchienen zuweilen glänzender und näher, zu anderen Zeiten ſchwächer erleuchtet und entfernter zu ſein. Latham beſtieg hierauf die öſtliche Klippe, wo ſich ſeinem Auge ein unge-

*) Recherches sur les refractions extraordinaires, qui ont lieu près de l'horizon. Par. 1810. Mém. de l'Institut pour 1809. Gilbert's Ann. Bd. XLVII. S. 237. Biot: Traité de phys. T. III. p. 318.

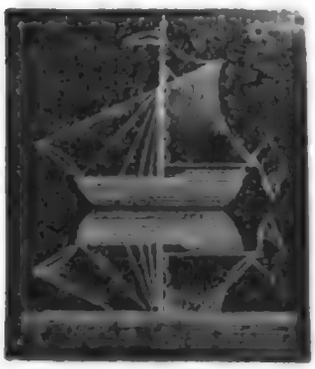
**) Beobachtungen und theoretiſche Unterſuchungen über die Strahlenbrechung. Oldenburg 1807.

***) Philos. Transact. for 1798. p. 357. Gilbert's Ann. Bd. IV. S. 142.

mein ſchöner Anblick darbot. Er ſah zu gleicher Zeit Dungeneß, Dover Cliffs und die ganze Länge der franzöſiſchen Küſte von Calais, Boulogne u. ſ. w. bis St. Vallery. Mit Hülfe eines Fernrohres ſah man deutlich die franzöſiſchen Fiſcherböte vor Anker liegen, auch unterſchied man die verſchiedenen Farben des Landes auf den Höhen ſo wie die Gebäude. Latham bemerkte ferner, daß die Landzunge Dungeneß, welche ſich nahe zwei engliſche Meilen in die See erſtreckt, und ungefähr ſechszehn Meilen in gerader Linie von Haſtings entfernt iſt, ganz nahe erſchien. Die Fiſcherböte, welche zwiſchen beiden Orten fuhren, ſchienen gleichfalls nahe und waren ungemein vergrößert.

Genaue Beobachtungen über Luftſpiegelungen wurden ferner von Vince mitgetheilt. Die Spitzen der vier Thürme von Dover Caſtle werden gewöhnlich von Ramsgate aus über einem Hügel, der zwiſchen Ramsgate und Dover liegt, hervorragend erblickt. Am 6. Auguſt 1806 um ſieben Uhr Abends, bei völlig ſtiller etwas dunſtiger Luft, wurden nicht allein die Spitzen der vier Thürme von Dover Caſtle über dem anliegenden Hügel geſehen, ſondern das ganze Gebäude erſchien als dieſſeits des Hügels, nach Ramsgate zu liegend und eben ſo hoch als gewöhnlich über dem Hügel hervorragend. Zwiſchen den Beobachtern und dem Lande, von welchem ab der Hügel ſich erhebt, liegen ungefähr ſechs Meilen See, und von da bis zum Gipfel des Hügels iſt es faſt eben ſo weit. Die Höhe deſſelben über die Waſſerfläche betrug ungefähr ſiebenzig Fuß. — Die Täuſchung gewann ungemein durch den Umſtand, daß der Hügel ſelbſt nicht durch das Bild erſchien, wie man wohl hätte erwarten ſollen. Die Aufmerkſamkeit der Beobachter war zwar vorzugsweiſe auf das Bild des Schloſſes gerichtet, doch glaubte Vince, daß, wenn der hinter demſelben liegende Hügel überhaupt ſichtbar geweſen wäre, er unmöglich ihrer Beobachtung hätte entgehen können, da ſie dieſelbe eine geraume Zeit mit einem guten Fernrohre fortſetzten.

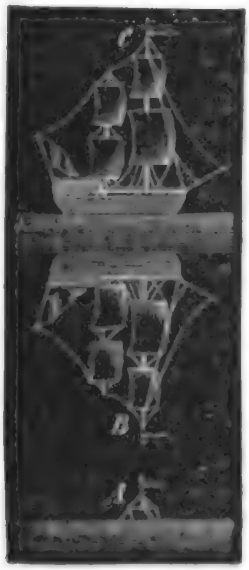
Andere genaue Beobachtungen hatte Vince *) ſchon früher angeſtellt. Im Jahre 1793 ſah Huddart, während ſeines Aufenthaltes zu Allonby in Cumberland, das umgekehrte Bild eines Schiffes unter dem letzteren, wie dies die nebenſtehende Figur zeigt. Vince, welcher in der Folge dieſe Erſcheinung in einer großen Menge von Fällen beobachtete, fand, daß das Schiff, welches hier als das wirkliche betrachtet wurde, nur ein aufrechtes Bild des wirklichen Schiffes war, welches zu der Zeit ſich ganz unter dem Horizonte befand und nicht geſehen werden konnte. Im Auguſt 1798 beobachtete Vince eine große Menge ſolcher Luftbilder von Schiffen, die ſich dem Horizonte näherten. Zuweilen wurde nur ein umgekehrtes Bild über dem wirklichen Schiffe geſehen, und dies war in der Regel der Fall, wenn das wirkliche Schiff völlig im Geſichte war. Allein wenn das Marsſegel des wirklichen Schiffes ſich über dem Horizont zu zeigen begann, wie A auf umſtehender Figur zeigt, ſo erblickte man zwei Luftbilder deſſelben: ein umgekehrtes in B, das andere in ſeiner natürlichen Lage in C. In dieſem Falle war die See zwiſchen dem aufrechten und verkehrten Bilde



*) Philos. Transact. for 1799. p. 13. Gilbert's Ann. Bd. IV. S. 129.

deutlich ſichtbar, allein in anderen Fällen berührte der Schiffrumpf des einen Bildes unmittelbar den des anderen.

Aehnliche Erſcheinungen beobachtete Scoresby, als er auf dem Schiffe Baffin das Eismeer in der Nähe von Weſtgrönland durchſchiffte. Am 28. Juni 1820 ſah er ungefähr achtzehn Segel von Schiffen in der Entfernung von zehn bis funfzehn Meilen. Die Sonne hatte den ganzen Tag über kräftig geſchienen. Gegen ſechs Uhr Abends erhob ſich ein leichter Nordweſt; ein dünner Stratus oder Nebelſtreif, anfänglich ſtark von der Sonne erleuchtet, erſchien in derſelben Gegend und ſtieg nach und nach bis zur Höhe von etwa einem Viertheil Grad. Um dieſe Zeit fingen die in der Entfernung von zehn bis funfzehn Meilen ſegelnden Schiffe an, ihre Geſtalt und Größe zu verändern. Mit dem Fernrohr von der Spitze des Maſtes aus unterſucht, boten einige die auffallendſten Erſcheinungen dar, die ſich faſt mit jedem Strich des Compaß veränderten. Ein Schiff hatte ein vollkommenes Bild, ſo deutlich wie das Original, und war mit der Spitze des Maſtes von letzterem in umgekehrter Lage verbunden. Mehrere Schiffe waren wunderlich verdreht, ihre Maſten erſchienen wenigſtens zweimal höher als ſie wirklich waren, und der Hauptmaſt hatte die Hälfte der ganzen Erhöhung. Andere Schiffe erſchienen dagegen anſtatt verlängert vielmehr zuſammengedrückt. — An anderen Tagen deſſelben Monats bemerkte Scoresby ähnliche Erſcheinungen. Die verkehrten Bilder entfernter Schiffe wurden oft in der Luft geſehen, während die Schiffe ſelbſt weit außer dem Bereiche des Sehens waren. Einige Schiffe erſchienen um das Doppelte vergrößert, andere hingegen faſt zu einer Linie zuſammengeſchrumpft. — Ein Phänomen, phantasmagoriſcher Art, ſah Scoresby am 18. Juli, als er die Küſte Grönlands durch ein Fernrohr unterſuchte. Ein zitternder durchſichtiger Dunſt war beſonders bemerklich und häufig, während der Himmel ſonſt klar war. Um neun Uhr Morgens, wo das Phänomen zuerſt geſehen wurde, ſtand das Thermometer auf 42° F.; allein des Abends vorher muß ſein Stand weit niedriger geweſen ſein, indem die See an mehreren Stellen mit einem beträchtlich dicken Häutchen von neuem Eiſe bedeckt war, — ein während der wärmſten Jahreszeit nicht gewöhnlicher Umſtand. Der Anblick, welcher durch das Fernrohr von der Küſte erhalten wurde, ſtellte nach Scoresby die Anſicht einer alten Stadt von bedeutendem Umfange, mit Ruinen von Paläſten, Obelisken, Kirchen und anderen großen Gebäuden dar, nebſt großen Felsmaſſen, welche ſcheinbar in der Luft ſchwebten ꝛc.



Während ſeiner Reiſe in Südamerika hatte auch Humboldt Gelegenheit, Luftſpiegelungen zu beobachten. In Cumana ſah er häufig die Inſeln Picuita und Boracha in der Luft ſchweben; zuweilen war das Bild verkehrt. Das eine Mal ſah er kleine Fiſcherkähne länger als drei bis vier Minuten in der Luft über dem wohlbegrenzten Horizonte der See ſchwimmen. Wurden ſie durch ein Fernrohr beobachtet, ſo bemerkte er bei dem einen Boote ein verkehrtes Bild, welches daſſelbe bei allen Bewegungen begleitete. Aehnliche Erſcheinungen wurden von demſelben in den öden Steppen von Caracas und an den Ufern des Orinoco,

wo der Fluß von Sandebenen umgeben iſt, bemerkt. Kleine Hügel und Hügelketten erſchienen ſchwebend in der Luft, wenn ſie von den Steppen aus in einer Entfernung von drei bis vier Meilen geſehen wurden. Einzeln ſtehende Palmbäume in den Ebenen (Llanos) erſchienen am Boden abgeſchnitten, als wenn eine Luftſchicht ſie vom Boden trennte, und von Vegetation entblößte Gegenden ſchienen, wie in der afrikaniſchen Wüſte, Ströme oder Seen zu ſein. In der Meſa de Pavona ſahen Humboldt und Bonpland in einer Entfernung von 6000 Fuß Kühe in der Luft ſchweben, deren Füße 3′ 20″ über dem Boden erhoben waren. In dieſem Falle waren die Bilder aufrecht, allein die Reiſenden erfuhren aus ſicherer Quelle, daß man in der Gegend von Calabozo verkehrte Bilder von Pferden in der Luft ſchwebend geſehen habe *).

Zu den Luftſpiegelungen gehören auch die unter dem Namen Fata Morgana (Schlöſſer der Fee Morgana) bekannten Erſcheinungen, die man häufig an der Meerenge von Meſſina, zwiſchen Sicilien und der italieniſchen Küſte wahrgenommen hat. Doch ſcheint man dieſelben ſo, wie ſie in älteren Beſchreibungen dargeſtellt werden **), in den neueſten Zeiten nicht beobachtet zu haben.

Wir haben nun noch einen, wie es ſcheint, viel ſeltner vorkommenden Fall hervorzuheben, der von Jurine und Soret am 17. September 1818 conſtatirt wurde. Hier befand ſich nämlich das Bild auf der einen Seite des wirklichen Objects, während die oben beſchriebenen Bilder unter oder häufig über den wirklichen Gegenſtänden geſehen wurden. Gegen 10 Uhr Morgens ſahen die Genannten auf dem Genfer See eine Barke von dem linken Ufer des Sees ſich Genf nähern; zu gleicher Zeit bemerkte man ein Bild der Segel über dem Waſſer, welches, ſtatt der Richtung der Barke zu folgen, ſich von dieſer trennte, und ſich von dem rechten Ufer her Genf zu nähern ſchien. Als ſich das Bild zuerſt von der Barke trennte, hatten beide eine gleiche Größe, das Bild wurde jedoch kleiner, ſo wie es ſich davon entfernte, und hatte bis auf die Hälfte abgenommen, als es verſchwand.

Erklärungen der Luftſpiegelung wurden früher von Gruber und Woltmann ***), von Kries ****) und dann wohl am umfaſſendſten von Biot (an den S. 737 citirten Orten) gegeben. — Die Urſache der oben beſchriebenen Erſcheinungen liegt vorzugsweiſe in der Ablenkung gewiſſer Strahlenſyſteme, welche von den Gegenſtänden aus ungleich erwärmte Luftſchichten von verſchiedener Dichtigkeit durchdringen. Durch die Linien in umſtehender Figur ſeien Luftſchichten von ungleicher Dichte angedeutet, ſo daß die letztere von unten nach oben allmälig zunimmt. Dieſer Fall kann wirklich vorkommen, wenn der Boden bei ruhiger Luft von der Sonne ſtark erwärmt wird. Das Auge o ſieht dann einmal ein directes Bild des erhabenen Gegenſtandes m n, welches erzeugt iſt durch Lichtſtrahlen, die ſo ziemlich in gerader Richtung von den Punkten des Gegenſtandes nach dem Auge

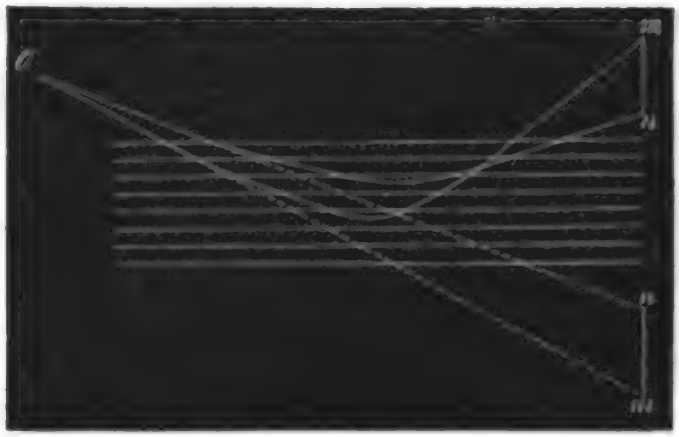
*) Essay sur les refractions astronomiques dans la zone torride. Lu à la 1. classe de l'Institut. Fév. 29. 1808. Par.

**) Kircher: Ars magna lucis et umbrae. P. II. c. 1. Ant. Minasi: Dissertazione sopra un fenomeno volgarmente detto Fata Morgana cet. A sua Eminenza il Sign. Cardinale di Zelada. In Roma 1773.

***) Gilbert's Ann. Bd. III. S. 388. 400.

****) Gilbert's Ann. Bd. LIII. S. 365.

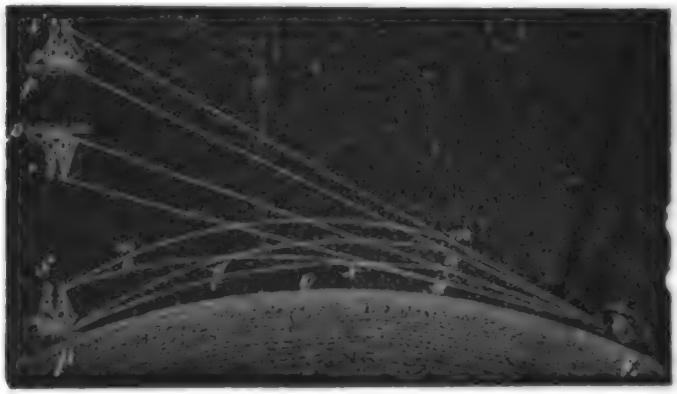
gelangen. Außerdem wird es aber noch ein verkehrtes Bild des Gegenſtandes unterhalb des letzteren wahrnehmen, da von jedem Punkte des Gegenſtandes auch ſolche Strahlen ausgehen, welche in die dünneren Luftſchichten eindringen und hier be-



ſtändig von dem Einfallsloth hinweggebrochen werden. Dieſe Strahlen gelangen aber bald zu einer Grenze, von welcher aus ſie in noch dünnere Luftſchichten nicht mehr übergehen können. Hier erfahren ſie eine Reflexion und beſchreiben dann auf der anderen Seite eine der vorigen entſprechende Bahn. Das Auge ſieht nun die Bilder der verſchiedenen Punkte des Gegenſtandes in denjenigen Richtungen, in welchen die betreffenden Strahlen ſchließlich das Auge treffen. Man erkennt, daß das Auge ein verkehrtes Bild des Gegenſtandes in der angedeuteten Richtung wahrnehmen muß. Lichtſtrahlen, welche von dem hinter den Objecten liegenden Himmel ausgehen, werden in den erwähnten Luftſchichten ebenfalls die beſchriebene Ablenkung erleiden und das Bild des Waſſers hervorbringen, in welchem die verkehrten Bilder der Objecte ſich ſpiegeln. Dieſe Erklärung gab Monge für die Bilder, welche in den Ebenen Egyptens zur Zeit der franzöſiſchen Expedition wahrgenommen wurden. Dieſelben Erſcheinungen laſſen ſich nach Wollaſton auch künſtlich hervorbringen, wenn man in einen etwas länglichen Kaſten von Eiſenblech glühende Kohlen füllt. Strahlen, welche von einem entfernten erhabenen Gegenſtande in die erhitzten Luftſchichten über den Kohlen dringen, werden auf die angegebene Weiſe abgelenkt und erzeugen ein verkehrtes Bild des Gegenſtandes.

Auf der anderen Seite iſt es aber auch möglich, daß die Luft von der Erdoberfläche an bis auf eine gewiſſe Höhe aufwärts allmälig in einem beſtimmten Maße an Dichte abnimmt. Iſt z. B. die Oberfläche der See bei ſonſt hellem Wetter viel kälter als die atmoſphäriſche Luft, ſo wird die zunächſt der See befindliche Luft nach und nach immer kälter werden, indem ſie ihre Wärme an das Waſſer abgiebt, und die unmittelbar darüber liegende Luftſchicht wird ihre Wärme der kühleren, zunächſt unter ihr liegenden mittheilen, ſo daß die Luft von der Oberfläche der See an aufwärts mehr als gewöhnlich an Dichte abnehmen muß. Es ſei nun S P auf umſtehender Figur ein Schiff, welches durch die Krümmung der Erde P Q E dem Beobachter in E verborgen wird. Ein von dem Kiel P des Schiffes ausgehender Lichtſtrahl erhält die Biegung nach der krummen Linie

PcxcE, indem derſelbe bei ſeinem Uebergange in dünnere Luftſchichten fortwährend vom Einfallsloth hinweggebrochen wird, bis er bei einer gewiſſen Größe des Einfallswinkels nicht weiter in die dünnere Luft eindringt, ſondern reflectirt



wird, ſo daß er nun von hier an bei ſeinem Eindringen in dichtere Luftſchichten vermöge der Brechung wieder eine krumme Bahn beſchreiben muß. Ein von der Spitze des Maſtes S kommender Lichtſtrahl beſchreibt auf ganz ähnliche Weiſe die krumme Linie SdxdE. Beide Strahlen kreuzen ſich in x und gelangen in das Auge bei E ſo, daß der vom Kiel herkommende Strahl der oberſte iſt. Das Bild muß demnach in der verkehrten Lage sp erſcheinen. Wäre der Stand des Auges dem Schiffe näher, wie in x, ehe die Strahlen ſich kreuzen, ſo würde ein aufrechtes Bild des Schiffes, etwas über das wirkliche Schiff erhaben, geſehen werden. Strahlen Sm und Pd, die höhere Punkte der Atmoſphäre treffen, können die Bahnen SmmE und PdnE beſchreiben, ohne daß ſie ſich jedoch vor dem Auge kreuzen. Dieſelben geben hiernach dem Auge bei E das aufrechte Bild s'p' des Schiffes. Bei der vorausgeſetzten Beſchaffenheit der Luft können alſo, unter ſonſt günſtigen Umſtänden, zwei Bilder, ein verkehrtes und ein aufrechtes, über dem Gegenſtande entſtehen.

Wollaſton*) hat auch dieſen Fall durch Verſuche erläutert. In eine Glaswanne gieße man klaren Syrup oder ſtatt deſſen Schwefelſäure bis zu einer gewiſſen Höhe und fülle den noch übrigen Raum mit Waſſer aus. Von einem Gegenſtande, der auf der einen Seite des Glasgefäßes zweckmäßig aufgeſtellt iſt, gewahrt man dann ein verkehrtes und aufrechtes Bild, wenn das Auge etwa über die Grenzfläche der beiden ungleich dichten Flüſſigkeiten hinwegſieht. Der Syrup oder die Schwefelſäure verbindet ſich nämlich nach und nach mit dem Waſſer und bildet ſo eine ſtufenweiſe ſich verändernde Dichte, die von der des Syrups oder der Schwefelſäure bis zu der des reinen Waſſers abnimmt. Dieſelben Erſcheinungen werden hervorgebracht, wenn man in das Glasgefäß Waſſer und darüber Alkohol gießt.

Die Erſcheinung von Dover Caſtle (S. 738), welche man auf der nach Ramsgate zu liegenden Seite des Hügels erblickte, wurde durch die am Boden

*) Phil. Transact. 1800. p. 289.

und über der See dichtere Luft als in größeren Höhen erzeugt. Eine Folge hiervon war, daß die von dem Gebäude ausgehenden Strahlen das Auge in krummen Linien erreichten. Die Urſache, daß daſſelbe ſeine natürliche Lage auf dem Hügel beibehielt und nicht in der Luft geſehen wurde, lag darin, daß der Gipfel des Hügels ſelbſt, weil er dem Gebäude ſo nahe war, dieſelbe Veränderung von der abwechſelnden Dichte der Luft erfuhr; mithin waren das Caſtel und der Hügel gleich erhaben und behielten ihre relative Lage. Daß aber die Bilder des Caſtels und des Hügels aufrecht erſchienen, kam daher, daß die Strahlen von der Spitze und dem Fuße des Caſtels ſich, als ſie Ramsgate erreichten, noch nicht gekreuzt hatten. Ein von dem Gebäude weiter entferntes und in dem Wege der Strahlen liegendes Auge würde vielleicht das Bild verkehrt geſehen haben.

Das Bild der Genfer Barke (S. 740), welches man in einer gewiſſen Entfernung von der wirklichen ſegeln ſah, entſtand durch dieſelbe Urſache wie die Luftbilder der Schiffe, nur mit dem Unterſchiede, daß in dieſem Falle die ungleich dichten Luftſchichten ſenkrecht auf dem Waſſer ſtanden, und nicht, wie bei den früher angeführten Erſcheinungen, horizontal und parallel mit dem Waſſer waren. Nimmt man denſelben Zuſtand der Luft, der Figur S. 742 in einer verticalen Richtung ſtattfindet, als in einer horizontalen Richtung vorhanden an, ſo werden dieſelben Bilder in horizontaler Linie entſtehen. In dem Falle mit der Genfer Barke wurde das Bild s′p′ ſichtbar. Der Zuſtand der Luft, welcher hier das ſeitwärts liegende Bild erzeugte, kam wahrſcheinlich daher, daß des Morgens die Luft über dem öſtlichen Ufer des Sees noch im Schatten lag, während dieſelbe weiter gegen Weſten hin ſchon von der Sonne erwärmt wurde. Derſelbe kann aber auch wohl durch vorſpringendes Land, eine Inſel, und vielleicht ſelbſt durch nahe an der Oberfläche befindliche und mit Waſſer bedeckte Felſen bewirkt werden. Werden die angeführten Gegenſtände von der Sonne ſtark erwärmt, ſo theilen ſie der nahe über ihnen befindlichen Luft Wärme mit, während die benachbarte über dem Waſſer liegende kühlere Luft ihre vorige Dichte größtentheils beibehält.

Einige andere optiſche Erſcheinungen, die man unter den Luftſpiegelungen anzuführen pflegt, haben andere Urſachen als die oben beſchriebenen. Es gehört hierher das ſogenannte Brockengeſpenſt. Von den Beſteigern des Brockens ſind nämlich oft in größerer oder geringerer Entfernung Geſtalten wahrgenommen worden, welche die Bilder ihrer eigenen Perſonen oder auch anderer im Original nicht ſichtbarer Beſteiger des Berges waren. Dieſelben ſind nichts anderes als die meiſt koloſſalen Schattenbilder der Beobachter, welche ſich auf Dünſten darſtellen. Sie werden in der Regel, wie es die Bildung des Schattens mit ſich bringt, geſehen, wenn die Sonne im Horizont ſteht, alſo namentlich beim Auf- und Untergange der Sonne. (Vergl. Art. Hof. Bd. III. S. 867.)

Silberſchlag*) ſah einmal im Herbſt während des Sonnenunterganges den Schattenriß des Brockens ſelbſt in enormer Größe nach Oſten hin, in der Gegend von Halberſtadt, im Nebel ſchweben. Aehnliche Erſcheinungen hat man auch oft in Berlin von den Thürmen des Gensdarmenmarktes und in Stettin vom Jacobithurme aus wahrgenommen.

Dieſe Thürme werfen nämlich ihren Schatten auf den Nebel, wenn der

*) Geogenie. Th. I. S. 136.

letztere bei niedrigem Stande der Sonne fällt und die Thürme aus demſelben hervorragen. Eine hiermit verwandte Erſcheinung, die jedoch mehr auf einer wirklichen Spiegelung der Lichtſtrahlen von Seiten verdichteter Waſſerdünſte zu beruhen ſcheint, hat Buchan beſchrieben *). Dieſer ging am Morgen des 28. Novembers 1804 öſtlich von Brighton ſpazieren, um den Aufgang der Sonne zu beobachten. Als er ſeine Augen gerade der See zuwandte, eben als die Sonnenſcheibe über die Oberfläche des Waſſers emporſtieg, ſah er den Vordertheil der Klippe, auf welcher er ſtand, ſich genau gegenüber in einiger Entfernung auf der See dargeſtellt. Auch bemerkten er und ſein Gefährte ihre Geſtalten auf dem Gipfel der im Bilde dargeſtellten, ihnen entgegenſtehenden Klippe, ſo wie das Bild einer Windmühle, die ſich in der Nähe befand. Die Bilder waren an den Stellen, die denen, worauf die Beobachter ſtanden, genau entgegengeſetzt waren, am deutlichſten, und das Bild der Klippe ſchien zu verblaſſen und ſich in dem Verhältniſſe der wirklichen mehr zu nähern, als es nach Weſten zu wich. Dieſe Erſcheinung dauerte etwa zehn Minuten, oder bis die Sonne ſich um die Länge ihres Durchmeſſers über die Oberfläche des Meeres erhoben hatte. Das Ganze ſchien ſich jetzt in der Luft zu erheben und verſchwand nach und nach. Der Eindruck, welcher dadurch hervorgebracht wurde, war dem ähnlich, wenn im Schauſpiele eine Regendecoration in die Höhe gezogen wird. Der Horizont, ſagt Buchan, war wolkig, oder es war vielmehr die Oberfläche der See von einem dicken, mehrere Ellen hohen Nebel bedeckt, welcher nach und nach vor den Strahlen der Sonne verſchwand.

Eine intereſſante Luftſpiegelung, die wir ſchließlich noch erwähnen wollen, beobachtete Georges Elliot in Virginien bei Gelegenheit ſeiner 101. Luftauffahrt **). In einer Höhe von 3000′ angelangt, warf er 5 Pfund Ballaſt aus, worauf er mit einer außerordentlichen Schnelligkeit ſtieg. Bald war er in Dampf gehüllt und empfand den Eindruck, als ſtecke er in einer mit Schmirgel beſtrichenen glanzloſen Glaskugel von 300′ Umfang. Wie groß war aber ſein Erſtaunen, als er unter ſich einen zweiten Ballon ſah, deſſen Aëronaut ihm wie ſein Schatten folgte und alle ſeine Bewegungen nachahmte! Neuen Ballaſt auswerfend, ſah er den Ballaſt ſeines Doppelfahrers ſteigen und dieſen ſelbſt hinabſchießen. Einmal aus der Dampfhülle heraus, ſah Elliot nichts mehr, empfand aber eine unerträgliche Hitze. Die Klappen des Ballons öffnend, befand er ſich bald wieder in der Dampfregion und erblickte wieder ſeinen Doppelfahrer, der diesmal zu ſteigen ſchien, ſo wie ſich Elliot abwärts bewegte.

Luftthermometer, ſ. Thermometer.

Luftwage, ſ. Barometer.

Luftgas, ſ. Stickſtoff.

---

*) Nicholſon's Journal. T. XIV. S. 340.

**) Nationalzeitung, Beilage zu Nr. 461. Dienſtag d. 3. October 1854. Morgenausgabe.

Magdeburgiſche Halbkugeln, ſ. Atmoſphäre Bd. I. S. 473.

Magie, natürliche, ſ. Zauberkunſt, natürliche.

Magneſia, ſ. Magnium.

Magnetismus. Dieſer Ausdruck bezeichnet eine gewiſſe Klaſſe von Naturerſcheinungen oder wohl auch ſchlechthin die Urſache derſelben. Es war ſchon im Alterthume von gewiſſen Eiſenerzen bekannt *), daß ſie aus geringen Entfernungen Eiſentheile anziehen können. Man nannte ein ſolches Erz, wie erzählt wird, einen *μάγνης* von Magneſia, einer Gegend in Lydien, wo ſich dieſe Erze vorfanden. Der Magneteiſenſtein, welcher von Natur magnetiſch iſt, beſteht aus Eiſenoxydul und Eiſenoxyd. Aber auch ein Stück Eiſen, das eine gewiſſe Zeit den atmoſphäriſchen Einflüſſen ausgeſetzt bleibt, oder welches längere Zeit in der Erde gelegen hat, erhält allmälig das Vermögen anderes Eiſen anzuziehen.

Es giebt nun Magnete, welche bei einem verhältnißmäßig geringen Volumen doch im Stande ſind, ſchwere Eiſenmaſſen frei zu heben und zu tragen. Um die Mächtigkeit eines Magnets zu prüfen, pflegt man ihm gewöhnlich Eiſenſtücke von größerem oder geringerem Gewichte zu nähern. Es gehört immer eine mehr oder weniger bedeutende Kraft dazu, um das am Magneten hängende Eiſenſtück wieder abzureißen; und dieſe Kraft wird gewiß um ſo größer ſein müſſen, je beträchtlicher die Anziehung zwiſchen dem Magneten und dem Eiſen iſt. Dieſe Anziehung iſt aber natürlich gegenſeitig; der feſtgehaltene Magnet zieht das frei bewegliche Eiſenſtück an, und umgekehrt zieht eine feſtſtehende Eiſenmaſſe mit derſelben Kraft und nach demſelben Geſetze den in ihre Nähe gebrachten Magneten an. Dagegen zeigt der Magnet nicht an allen Punkten ſeiner Oberfläche eine gleich ſtarke Anziehung. Wenn man eine Stange magnetiſirten Eiſens in Eiſenfeile wälzt und nachher herausnimmt, ſo ſieht man, daß ſich die Theilchen der Eiſenfeile an die Oberfläche der Stange hängen, aber nicht an allen Theilen auf gleiche Weiſe, ſondern vorzugsweiſe in einiger Entfernung von den Enden (ſ. beiſtehende Figur). An den letzteren bemerkt man ſehr lange gleichſam Faſern oder Haare, welche ſenkrecht gegen die Oberfläche gerichtet ſind. Weiter ab von dieſen Punkten werden dieſe Faſern kürzer und neigen ſich gegen die Mitte hin, woſelbſt ſich gar keine Eiſentheilchen anſetzen. Die Wirkung, welche alle Theile einer magnetiſchen Eiſen- oder Stahlſtange auf Eiſentheile ausüben, kann man auch wahrnehmen, wenn man die Stange unter ein Blatt Papier legt und auf dieſes Eiſenfeile ſtreut. Sobald man das Papier leicht erſchüttert, vertheilt ſich die Feile in der Form krummer Linien, die theilweiſe von der einen Hälfte des Magnets zur anderen ſich erſtrecken. Immer erkennt man zwei Stellen, nach denen ſich die Eiſenfeile am ſtärkſten hinzieht, und dieſe liegen gegen die Enden der Stange. Dieſe Stellen, wo die magnetiſche Anziehung am ſtärkſten hervortritt, hat man Pole genannt.

Die Einwirkung des Magnets auf Eiſen findet auch dann noch ſtatt, wenn man zwiſchen ihn und das letztere Körper wie Holz, Papier, Glas ꝛc. bringt.

*) Lucretius de rerum nat. L. VI. v. 908, 910—916; 1040—1060. Plinius hist. nat. L. XXXVI. c. 16.

Auch wird eine leicht bewegliche Eisennadel im Recipienten der Luftpumpe nach möglichster Luftverdünnung noch von einem Magneten außerhalb des Recipienten angezogen.

Wenn man eine magnetisirte Stahlnadel an einem Faden so aufhängt, daß sie frei beweglich in einer horizontalen Ebene schwebt, so nimmt sie alsbald eine solche Stellung an, daß das eine Ende derselben nach Norden, das andere folglich nach Süden zeigt. Da sich nun nach den Enden der Nadel hin ihre Pole befinden, so nennt man gewöhnlich den einen dieser Pole, den, welcher nach Norden gerichtet ist, den Nordpol und den anderen den Südpol der Nadel. Wie die Nadel, so stellt sich überhaupt jeder frei bewegliche Magnet in eine solche Richtung, daß im Allgemeinen einer seiner Pole nach Norden, der andere gegen Süden gekehrt ist. Und so hat jeder Magnet einen Nordpol und einen Südpol. Jenen nennt man wohl auch den positiven, diesen den negativen Pol. Die Nordpole verschiedener Magnete heißen aber gleichnamige Pole und eben so die Südpole im Verhältniß gegen einander, dagegen heißt ein Nordpol gegen einen Südpol, und ein Südpol in Rücksicht auf den Nordpol ungleichnamig. Nähert man den Nordpol eines Magnets dem Südpol einer frei an einem Faden aufgehängten Magnetnadel, so zieht jener diesen an, und eben so zieht der Südpol des Magnets den Nordpol der Magnetnadel an. Die ungleichnamigen Pole also ziehen sich an, und heißen deshalb wohl auch hie und da freundschaftliche Pole. Nähert man dagegen den Nordpol eines Magnets dem Nordpol einer Magnetnadel, so stößt er denselben ab, und eben so stößt der Südpol des einen Magnets den des anderen ab. Gleichnamige Pole stoßen sich ab, und werden deshalb wohl auch feindliche Pole genannt. Jeder Magnet zeigt hiernach einen gewissen Gegensatz in seiner Wirkungsweise, und es liegt darin gerade sein Charakteristisches. Doch ist dieser Gegensatz nicht auf die beiden Punkte, welche man Pole nennt, beschränkt, sondern der ganze Magnet zerfällt in zwei Theile, von denen der eine nord-, der andere südpolarisch sich verhält. Beide Theile sind durch eine neutrale Zone oder durch eine sogenannte Indifferenzlinie, die bei einem gleichmäßig magnetisirten Stabe durch die Mitte desselben geht, begrenzt.

Man bringe eine unmagnetisirte Stange aus weichem Eisen, etwa in verticaler Stellung mit einem ihrer Enden nahe an den einen Pol einer horizontalen magnetisirten Stahlstange, und biete dem freien Ende der Eisenstange Eisenfeile dar. Diese legt sich hier sogleich an, und bleibt so lange hängen als der magnetische Einfluß dauert; so wie man aber den Magnetstab von der Eisenstange entfernt, fällt die Eisenfeile ab. Statt der Eisenfeile lassen sich zu diesen Versuchen auch kleine Stangen aus weichem Eisen, etwa Stückchen weichen Eisendrahtes, gebrauchen. Unter dem magnetischen Einflusse hängen sich diese eines an das andere, so daß man aus ihnen eine Art von Kette bilden kann. Zieht man den Magnet hinweg, so fallen die kleinen Eisencylinder sogleich von einander ab. Das Eisen wird nämlich durch die Einwirkung eines Magnets ebenfalls magnetisch, es erhält einen Nord- und einen Südpol, und zwar so, daß z. B. der dem Nordpol des Magnets zugekehrte Theil eines Eisenstabes einen Südpol, und der abgewendete Theil einen Nordpol bekommt. Ueberhaupt gilt die Regel: daß jeder Pol eines Magnets in dem ihm zunächst zugekehrten Theile des Eisens den entgegengesetzten oder ungleichnamigen Pol hervorruft, womit dann das Auftreten des gleichnamigen Pols auf der anderen Seite verbunden ist. Man nennt dies

das Geſetz der magnetiſchen Vertheilung. Der Magnet verliert aber durch dieſe Erregung des Magnetismus durch Vertheilung nichts an magnetiſcher Kraft, wie groß auch die Anzahl der Eiſenſtangen ſein mag, welche er magnetiſirt. Schon hieraus folgt, daß das weiche Eiſen, welches in ſeinen natürlichen Zuſtand zurücktritt, ſobald es außerhalb des magnetiſchen Einfluſſes ſich befindet, in ſich ſelbſt die Fähigkeit haben muß, die magnetiſche Polarität anzunehmen. — Das oben beſchriebene Anhängen der Eiſentheile an einen Magneten und die weiterhin erwähnte Anordnung der Theilchen der Eiſenfeile zu gewiſſen regelmäßigen Curven (auf einem Blatte Papier) iſt die Folge davon, daß die Eiſentheilchen ſelbſt durch die Einwirkung des Magnets magnetiſch werden, und ſich dann dergeſtalt an einander hängen, daß ihre ungleichnamigen Pole einander zugekehrt ſind. — Wenn man mit dem etwas abgerundeten Pol eines Magnets über eine reine Stahlplatte hinfährt, ſo werden die dadurch gebildeten Figuren durch Aufſtreuen von Eiſenfeile ſichtbar, welche an den vom Magnetpol berührten Stellen hängen bleibt.

Während ein Stab weichen Eiſens nach Aufhebung des magnetiſchen Einfluſſes wieder in ſeinen natürlichen, unmagnetiſchen Zuſtand zurückgeht, iſt dies nicht der Fall bei einer Stange durch Hämmern gehärteten Eiſens oder gehärteten Stahles. Bei einer ſolchen äußert ſich der magnetiſirende Einfluß langſamer, aber nachdem er einmal entſchieden hervorgetreten iſt, behält dieſelbe die magnetiſche Eigenſchaft lange Zeit, ſogar noch dann, wenn ſie nicht mehr unter dem Einfluſſe des Magnets ſteht. Im gehärteten Eiſen und Stahl muß irgend eine Urſache vorhanden ſein, welche die Entwickelung des Magnetismus erſchwert, aber den einmal gebildeten magnetiſchen Gegenſatz auch in der Wiederausgleichung, wie ſie beim weichen Eiſen ſtattfindet, hindert. Dieſe Urſache, welche Coërcitivkraft genannt wird, wächſt mit dem Härtegrade des Stahles.

Die Magnetiſirung einer Eiſen- oder Stahlſtange wird begünſtigt, wenn ſie, während ſie unter der Einwirkung eines Magnets ſteht, geſchlagen oder gerieben wird, oder wenn überhaupt die Maſſentheilchen derſelben durch einen mechaniſchen Einfluß aus ihrer gewöhnlichen Gleichgewichtslage gebracht werden. So wird ein Eiſenſtäbchen, welches zwiſchen den entgegengeſetzten Polen zweier Magnete liegt und noch keine Spur von Magnetismus zeigt, ſofort polariſch, wenn man es der Länge nach mit einem harten Körper reibt *). Wenn man ferner eine Eiſenſtange vertical hält, und mit einem Hammer auf das eine Ende derſelben ſchlägt, ſo erhält ſie magnetiſche Polarität, und wendet man hierauf die Stange um und ſchlägt gegen ihr anderes Ende, ſo wird ihre Polarität umgekehrt, d. h. das früher ſüdpolariſche Ende wird nordpolar, das nordpolariſche ſüdpolar. Hier iſt es der Magnetismus der Erde (ſ. d. Art.), welcher den magnetiſirenden Einfluß ausübt, und deſſen Wirkung auf die Eiſenſtange durch die mechaniſche Erſchütterung der letzteren begünſtigt wird. Eben daher kommt es, daß eiſerne Handwerksgeräthe durch den Gebrauch nach kurzer Zeit meiſt magnetiſch werden. Umgekehrt kann aber auch der in einer Eiſen- oder Stahlſtange ſchon vorhandene Magnetismus durch eine mechaniſche Erſchütterung derſelben geſchwächt werden.

Durch das Geſetz der magnetiſchen Vertheilung erklären ſich leicht folgende

*) Haldat: Ann. de Chim. T. XLII. p. 42.

Erſcheinungen. Hängt man an den einen Pol eines Magnets ein ſo großes Stück Eiſen, als er eben tragen kann, ſo fällt dieſes ab, ſobald man den ungleichnamigen Pol eines anderen Magnets von oben oder von der Seite her nähert. Iſt nämlich der tragende Pol ein Nordpol, ſo erregt er in dem oberen Theile des eiſernen Gewichtes Südpolarität, im unteren Nordpolarität. Falls nun der angenäherte Pol ein Südpol iſt, ſo ſtößt derſelbe den oberen ſüdpolariſchen Theil des Eiſens zurück, während er zugleich mit dem tragenden Pol in ein Verhältniß der Anziehung tritt. Nähert man hingegen den ungleichnamigen Pol des zweiten Magnets dem anhängenden Eiſen von unten her, ſo wird dieſes mit größerer Kraft als vorher feſtgehalten, weil es jetzt in Folge der Einwirkung des genäherten Pols einen ſtärkeren Magnetismus (durch Vertheilung) erhält. Wenn aber der zweite Magnet viel ſtärker als der erſte iſt, ſo fällt es auch in dieſem Falle von dem letzteren ab.

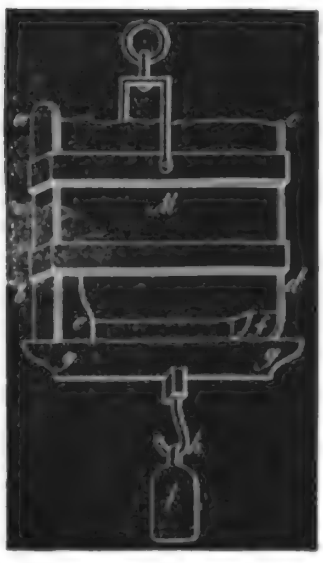
Das Eiſen, welches ſich in der Umgebung eines Magnets befindet, wird meiſt von beiden Polen des letzteren zugleich afficirt werden, ſo daß in jedem Punkte des Eiſens, je nach deſſen Entfernung und Lage gegen die Pole, eine magnetiſche Wirkſamkeit auftritt, die durch die Differenz der Wirkungen beider Pole bedingt iſt.

Es iſt bereits hervorgehoben worden, daß der polare Gegenſatz eines Magnets ſich nicht blos auf die ſogenannten Pole deſſelben erſtreckt. Wenn man einen Stahlmagneten, der ſich leicht brechen läßt, wirklich theilt, ſo zeigt jedes Stück, wie weit man auch die Theilung fortſetzen mag, wieder zwei entgegengeſetzte Pole. Man muß hieraus ſchließen, daß auch den kleinſten Maſſentheilchen des Magnets der polare Gegenſatz eigen iſt. Daſſelbe verräth ſich auch bei der magnetiſchen Vertheilung. Iſt ein weicher Eiſendraht mit einem Magnetpole in Berührung, ſo hat er zwei Pole. Schneidet man nun von dieſem Drahte ſo viele Stücke ab, als man will, ſo wird das am Pole hängenbleibende Stück immer wieder zwei Pole zeigen. Jeder Magnet hat *wenigſtens zwei* Pole. Es kann aber auch eine größere Anzahl von Polen bei einem und demſelben Magnetſtabe vorkommen, wie dies namentlich bei längeren Stangen nicht ſelten der Fall iſt. Ein ſolcher Stab erſcheint dann als zuſammengeſetzt aus mehreren kleineren Magnetſtäben. Dieſe polariſchen Punkte werden nun gewöhnlich *Folgepunkte* genannt. Um dieſelben zu entdecken, nähert man nach und nach alle Punkte der vertical gehaltenen Stange einem und demſelben Pole einer beweglich aufgehängten Magnetnadel. Jedesmal wo man einen Uebergang von Anziehung zu Abſtoßung beobachtet, da giebt es einen Folgepunkt. Deutlich kann man dieſe polariſchen Punkte einer Stange auch nachweiſen, wenn man dieſelbe mit Eiſenfeile umgiebt, oder wenn man auf ein über einen ſolchen Magnet gelegtes Papier Eiſenfeile ſtreut.

Dieſe ordnet ſich dann ſo, daß man aus der Weiſe ihrer Vertheilung die Gegenwart der Folgepunkte erkennt.

Um einer Verminderung des polaren Gegenſatzes, welcher ſich ſelbſt überlaſſene Magnete häufig ausgeſetzt ſind, zu begegnen, gebraucht man ſogenannte Armaturen oder Armirungen (Bewaffnungen). So heißen nämlich im Allge-

meinen Stücke weichen Eisens, welche mit den Magneten in Verbindung gesetzt sind, um ihren magnetischen Gegensatz in seiner Stärke zu erhalten. Bei hufeisenförmig gelegenen Magnetstäben, die man Hufeisenmagnete nennt, dient als Armatur ein einziges Stück weichen Eisens, das die beiden Pole mit einander verbindet und Anker genannt wird. Diese Armirungen bewirken auch eine Erhöhung des Magnetismus. Wenn nämlich die Pole eines Magnets mit weichem Eisen in Berührung sind, so erzeugt jeder Pol in dem berührenden Ende desselben einen ihm ungleichnamigen Magnetpol; dieser aber wirkt auf jenen, den ursprünglich magnetischen Pol, in derselben Weise zurück, so daß die Folge eine Erhöhung der magnetischen Kraft desselben ist. Diese gegenseitige Steigerung des magnetischen Zustandes hat aber ihre Grenze, welche durch die Coërcitivkraft des Magnets bedingt ist. Hängt man an den einen Pol eines Magnets ein Stück weiches Eisen, an das eine Wagschale befestigt ist, in welche man nach und nach verschiedene Gewichte legt, so lange bis man eine weitere Belastung nicht vornehmen kann, ohne das weiche Eisen von dem Magneten abzureißen, so findet man, daß jeden folgenden Tag die Belastung um einiges vermehrt werden kann, ohne daß Trennung erfolgt; aber wenn man nach einer gewissen Zeit das Eisen mit Gewalt abreißt, so zeigt sich der Magnet nicht mehr fähig, die ganze Last zu tragen, welche er vorher trug. Der Magnet hatte unter dem Einflusse des Eisens eine größere Kraft erlangt, als er gemäß seiner Coërcitivkraft zu behalten im Stande war; so wie er daher sich selbst überlassen wird, nimmt er den seiner Coërcitivkraft entsprechenden Grad der Stärke wieder an, oder tritt in den seiner Coërcitivkraft entsprechenden Sättigungszustand. Gesättigte Magnete sind also eben solche, welche so viel Magnetismus angenommen haben, als sie auf Grund ihrer Coërcitivkraft dauernd behalten können. Hufeisenmagnete mit vorgelegtem Anker gerathen leicht in den Zustand einer Uebersättigung, indem ein großer Theil der bereits vorhandenen magnetischen Kraft durch die Rückwirkung des Ankers gewissermaßen gebunden wird, so daß dann durch die Einwirkung eines stärkeren Magnets eine Steigerung der magnetischen Polarität im Hufeisen leichter herbeigeführt werden kann. Wenn man aber den Anker abreißt, so verschwindet der durch den Einfluß desselben über den Sättigungspunkt hinaus erregte Magnetismus wieder.



Will man natürliche Magnete mit einer Armatur versehen, so sucht man an denselben zunächst die Stellen auf, an welchen sich die Pole befinden, schleift dieselben ab, und legt an sie beiderseits Platten von recht weichem Eisen, welche gewöhnlich in dickere Füße ausgehen. Man befestigt diese mittelst messingener Ringe, die mit Schrauben zusammengefügt werden. Die unteren hervorragenden dickeren Enden sind durch Vertheilung magnetisch und heißen die künstlichen Pole des Magnets. An sie wird wie an die Hufeisenmagnete ein Anker angebracht. In nebenstehender Figur ist M der Magnet selbst; a b und c d bezeichnen die Eisenplatten, e und f die hervorragenden Füße, g g den Anker, h dessen Haken mit einem angehängten Gewichte l.

Wenn man zwei Magnetstäbe von gleicher Größe und Stärke mit den gleichnamigen Polen an einander legt, so haben sie beide zusammen eine Tragkraft, die merklich größer als die jedem einzelnen Stabe zukommende ist. Man kann auf dieselbe Weise auch eine größere Anzahl von Magnetstäben, die bis zur Sättigung magnetisirt sind, zusammenlegen, und erhält dann ein sogenanntes magnetisches Magazin. Gewöhnlich nimmt man 3 bis 5 einzelne Magnetstäbe (Lamellen), von denen man den mittelsten am stärksten und längsten macht, so daß die anderen auf beiden Seiten in symmetrischer Weise treppenförmig abnehmen. Die Stäbe können geradlinig oder hufeisenförmig sein. Die nebenstehende Figur zeigt einen Hufeisenmagnet, dessen Lamellen durch die Schrauben V, V' fest zusammengehalten werden. Die Fassung n n' mit einem Ringe dient um den Magneten aufzuhängen. p p' ist der Anker aus weichem Eisen mit einem Haken zur Aufnahme von Gewichten.

Wenn der Pol eines schwachen Magnets mit dem gleichnamigen Pol eines starken in Berührung kommt, so sucht dieser in jenem Magneten eine entgegengesetzte Vertheilung des Magnetismus hervorzubringen, so daß dadurch jedenfalls eine Schwächung des minder kräftigen Magnets und bei hinreichender Stärke des anderen sogar eine Umkehrung der Polarität des schwächeren Magnets hervorgebracht wird. Sinsteden *) hat hervorgehoben, daß hierauf bei der Bildung eines Magnets aus vielen einzelnen Lamellen Rücksicht zu nehmen sei, indem man vermeiden müsse, eine dünne Lamelle auf eine starke oder eine einzelne Lamelle auf eine größere Anzahl schon zusammengelegter zu bringen. Es sei am zweckmäßigsten, zu zusammengesetzten Magneten nur gleich starke Lamellen zu wählen, und diese nach dem Magnetisiren so zusammenzulegen, daß immer nur zwei gleich starke Pole zusammenkommen.

Wenn dem Stahl ein möglichst hoher Grad von Magnetismus auf eine bleibende Weise ertheilt werden soll, so reicht dazu das Magnetisiren durch einfache Berührung allein nicht hin. Ergiebiger ist in dieser Beziehung das Streichen des Stahls mit einem gegebenen Magnete. Die erste vollkommenere Methode dieser Magnetisirung ist wohl von Knight angewendet worden. Im Jahre 1750 beschrieb Michell **) eine Methode, welche er den Doppelstrich nannte, und die auch jetzt noch unter diesem Namen bekannt ist. Dieselbe Methode lehrte aber auch fast gleichzeitig oder sogar noch früher Canton ***), jedoch mit einigen Abweichungen. Und in demselben Jahre machte Duhamel ****) eine ähnliche Methode bekannt. Canton's Verfahren erhielt eine Verbesserung durch Aepinus. Ein Mechaniker Le Maire soll aber der erste gewesen sein, welcher die Magnetisirung durch Stahlstäbe, die unter den zu magne-

*) Poggend. Ann. Bd. LXVI. S. 29. Vergl. auch Art. Induction, elektrische. Bd. IV. S. 43.

**) A treatise on artificial magnets, in which is shewn an easy and expeditious method of making them superior to the best natural ones etc. Cambridge 1750.

***) Phil. Trans. Vol. 47. f. 1751. p. 34.

****) Mém. de l'acad. 1750. p. 154.

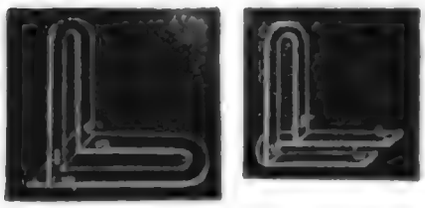
tiſirenden Stab gelegt werden, beförderte. Eine Methode Antheaulme's*) endlich, welche zugleich den Erdmagnetismus als magnetiſirendes Princip benutzt, hat ſonſt Aehnlichkeit mit der Canton'ſchen.

Das Magnetiſiren des Stahls durch den ſogenannten einfachen Strich beſteht darin, daß man den einen Pol eines Magnets, z. B. den Nordpol, auf die Mitte des zu magnetiſirenden Stahlſtabes ſetzt und damit bis an das Ende oder noch etwas darüber hinausſtreicht. Dies wiederholt man öfter, und behandelt dann eben ſo die andere Seite mit dem Südpol des Magnets. Erforderlich iſt aber, daß man immer nach derſelben Richtung hinſtreicht, weil ſonſt der ſchon erzeugte Magnetismus wieder zerſtört werden würde. Das Ende, welches mit dem Nordpol geſtrichen wurde, erhält dann den Südpol und das andere den Nordpol. Man kann aber auch die entgegengeſetzten Pole zweier Magnete auf die Mitte ſetzen, indem man den einen Magneten in die rechte, den anderen in die linke Hand nimmt, und dann gleichzeitig den einen nach der rechten, den zweiten nach der linken Seite fortführen, ſo daß beide Magnete gleichzeitig an den entgegengeſetzten Enden des Stabes ankommen. Hierauf ſetzt man die Magnete wieder in der Mitte auf und wiederholt das Streichen wie vorher nach entgegengeſetzten Richtungen. Der einfache oder getrennte Strich kommt in ſeiner einfachſten Form zur Anwendung, wenn man den einen Pol eines Magnets auf das eine Ende des Stahlſtabes ſetzt und ihn in einem Zuge bis zum anderen Ende oder noch etwas darüber hinaus fortführt. Dieſes Verfahren wird mehrmals wiederholt, indem man den Pol vor jedem neuen Strich in gehöriger Entfernung vom Stabe auf das zuerſt berührte Ende des letzteren zurückbringt. Hier entſteht dann ein mit dem aufgeſetzten Magnetpole gleichnamiger Pol, während auf der anderen Seite, nach der man hinſtreicht, der entgegengeſetzte Pol zur Entwickelung gelangt. Nach dieſer Methode können indeß nur dünne Stahlſtreifen bis zur Sättigung magnetiſirt werden. Auch entſtehen dabei, wenn das Streichen nicht ſehr gleichmäßig geſchieht, leicht Folgepunkte. Zur Magnetiſirung dickerer Stahlſtäbe iſt der Doppelſtrich von größerer Wirkſamkeit. Derſelbe beſteht darin, daß man auf die Mitte des zu magnetiſirenden Stabes die ungleichnamigen Pole zweier Magnete ſo aufſtellt, daß zwiſchen ihnen noch ein kleiner Abſtand ſich befindet, den man leicht durch ein Stückchen Holz oder Blei unverändert erhalten kann. Man bewegt nun beide Pole nach demſelben Ende hin und wieder zurück bis an das andere Ende, was man mehrmals wiederholt. Während ſo die beiden Magnetpole auf dem Stabe hin und hergehen, erfahren vorzugsweiſe die zwiſchen ihnen liegenden Stahltheilchen einen ſtarken vertheilenden Einfluß. Ein Hufeiſenmagnet, deſſen Pole nahe an einander ſtehen, iſt zur Ausführung des Doppelſtriches bequem. Doch iſt eine gewiſſe Neigung beider Magnetſtäbe gegen den zu magnetiſirenden Stab vortheilhaft. Man pflegt dieſelben gegen letzteren um etwa 15 bis 20 Grad zu neigen. Um aber den während des Streichens erregten Magnetismus zu fixiren und eine kräftigere Einwirkung der Streichmagnete zu veranlaſſen, iſt es zweckmäßig, den magnetiſirenden Stab mit ſeinen Enden auf weiche Eiſenſtücke oder, wie Aepinus vorgeſchlagen, auf die entgegengeſetzten

*) Mém. sur les aimans artificiels qui a remporté le prix de l'acad. de Petersbourg. Paris 1760.

Pole zweier starken Magnete zu legen. Aepinus gebrauchte, wie Michell, zum Streichen sogenannte Magnetbündel, die aus einzelnen Stäben zusammengefügt waren, so daß in jedem Bündel die gleichnamigen Pole an einander lagen. — Der Doppelstrich läßt sich auch zum Magnetisiren hufeisenförmiger Stahlstäbe verwenden. Man kann das eine Ende eines solchen Stabes auf den Nordpol eines starken Magnets, das andere auf den Südpol eines zweiten legen, und dann mit zwei geradlinigen Magnetstäben, wie gezeigt, streichen, indem man von der Mitte der Krümmung ausgeht. Oder man benutzt einen Hufeisenmagnet und verfährt nach den beiden folgenden Methoden von Hoffer*). Die beiden Enden des zu magnetisirenden Stabes werden durch ein vorgelegtes weiches Eisen (Anker) mit einander verbunden (s. beistehende Fig. I.). Alsdann setzt man den Streichmagneten so nahe als möglich am Anker und in aufrechter Stellung auf die Schenkel des Stabes und führt ihn gleichförmig und parallel mit sich selbst über die Wölbung hinaus. Dieses Verfahren wird mehrmals wiederholt. Jeder Schenkel erhält dann einen Pol, der mit dem aufgesetzten Pol des Streichmagneten gleichnamig ist, während zugleich an der Wölbung zwei entgegengesetzte Pole entstehen. Nach der zweiten Methode setzt man die Schenkel des Streichmagnets zuerst auf die Wölbung und führt sie dann nach den Enden des Stabes hin (s. beistehende Fig. II.). In diesem Falle erhält jeder Schenkel die dem berührenden Pole entgegengesetzte Polarität. Den nach der ersten Methode erregten Magnetismus kann man durch die zweite aufheben und auch die Pole umkehren. Ein Verfahren von F. Mohr**) stimmt bezüglich des Streichens mit der zweiten Methode Hoffer's überein, unterscheidet sich aber dadurch von dieser, daß man noch einen zweiten Anker auf das zu magnetisirende Hufeisen legt, ehe man den Streichmagneten entfernt, so daß der letztere durch den einen Anker geschlossen abgehoben wird***). — Während des Magnetisirens beobachtet man folgende Erscheinungen****), die ihre Ursache in der Wechselwirkung zwischen dem Streichmagneten, dem zu magnetisirenden Hufeisen und dem Anker haben. Wenn man den Streichmagnet auf die Schenkel des Hufeisens (s. beistehende Fig. I.) aufsetzt, so wird der Anker sogleich angezogen. Wird aber der Streichmagnet weiter gegen die Wölbung hin fortgeführt, so nimmt der Magnetismus eines jeden Schenkels des zu magnetisirenden Stabes ab, und erreicht ein Minimum, wenn der Streichmagnet in eine gewisse Entfernung von den Enden der Schenkel gekommen ist. Setzt man aber den Streichmagneten zuerst in der Nähe der Wölbung auf, so wird der Anker nicht sogleich von den Schenkeln des zu magnetisirenden Hufeisens festgehalten, sondern dieses Festhalten geschieht erst, wenn der Streichmagnet sich dem Anker bis auf eine gewisse Entfernung genähert hat, und nimmt alsdann mit der Fortführung des Streichmagnets nach dem Anker hin zu. Wird aber in der

I. II.



---

*) Baumgartner's Zeitschrift für Physik und verwandte Wissensch. Bd. II. S. 197. 360, Bd. III. S. 193.

**) Pogg. Ann. Bd. XXXVI. S. 542.

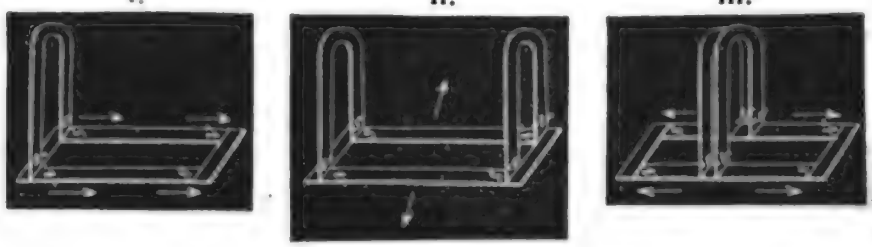
***) Vergl. Dove's Repertorium der Physik. Bd. II. S. 141.

****) Baumgartner's Zeitschrift ꝛc. N. F. Bd. II. S. 360.

Nähe des letzteren der Magnet weggezogen, so nimmt die Wirkung des Hufeisens auf den Anker rasch ab, und dieser fällt ganz ab, wenn der Streichmagnet das Hufeisen nur noch in wenigen Punkten berührt. Sobald aber der erstere ganz hinweggezogen ist, kehrt die Wirkung des magnetisirten Hufeisens auf den Anker in ihrer ganzen Stärke augenblicklich zurück. Aehnliche Erfahrungen wie Hoffer machte in dieser Beziehung F. Mohr, der daraus ein Erkennungsmittel für den Sättigungspunkt des zu magnetisirenden Stabes herleitete. Der Anker wird vom letzteren nicht eher merklich angezogen, als bis dieser einmal von der Wölbung ausgestrichen ist. Beim zweiten Aufsetzen des Magnets auf das Hufeisen haftet der Anker nur schwach, und er wird gar nicht mehr angezogen, wenn der Magnet bis zu einer gewissen Entfernung von den Enden des Hufeisens gekommen ist. Streicht man aber über diesen Abstand weiter hinaus, so macht sich auch die Anziehung wieder geltend. Diese Entfernung, bei welcher die Anziehung sich wieder einstellt, rückt bei jedem folgenden Strich den Enden immer näher. Endlich wird sie stationär und dann nimmt auch die magnetische Kraft des gestrichenen Hufeisens nicht mehr zu.

Hoffer hat seine Magnetisirungsmethoden auch auf gerade Stäbe übertragen, von denen aber dann immer wenigstens zwei zugleich magnetisirt werden. Die Stäbe werden parallel neben einander auf einen Tisch gelegt und an den Endflächen durch Stücke weichen Eisens (Anker) mit einander verbunden. Man stellt nun einen hufeisenförmigen Magneten in der Nähe des einen oder anderen Ankers auf und führt ihn längs der Stangen über die entgegengesetzten Enden hinaus. In der beistehenden Fig. I. zeigen die beigesetzten Pfeile die Richtung des Striches an. Es lassen sich aber auch zwei Streichmagnete zugleich anwenden, von denen man den einen in der Nähe des einen, den zweiten in der Nähe des anderen Ankers aufsetzt. Man führt dann beide Streichmagnete parallel mit ihrer ursprünglichen Stellung längs der Stangen bis in die Mitte derselben so nahe als möglich gegen einander (s. beistehende Fig. II.), worauf man sie dann entweder zugleich in die Höhe hebt, oder in entgegengesetzten Richtungen an dieser Stelle nach der Seite aus einander zieht, wie solches die in der Figur beigesetzten Pfeile anzeigen. Oder man setzt beide Streichmagnete in der Mitte beider Stangen auf (Fig. III.) und führt sie gleichzeitig in entgegengesetzten Richtungen über die Anker hinaus. — Diese Manipulationen werden in derselben Weise mehrmals wiederholt.

I. II. III.



Von dem einfachen Strich und dem Doppelstrich unterscheidet man noch den Kreisstrich, der jedoch höchstens nur als eine Abänderung des Doppelstriches betrachtet werden kann. Bei demselben werden vier Stahlstäbe oder abwechselnd zwei Stahlstäbe und zwei Eisenstäbe so zusammengelegt, daß sie ein Quadrat bil-

den. Hierauf ſetzt man, wie beim Doppelſtrich, zwei ungleichnamige Magnetpole auf einen Stab und führt ſie mehrmals in derſelben Richtung rings herum. Man erkennt leicht, daß ſich dieſes Verfahren auch auf zwei mit ihren Endflächen an einander gelegte Hufeiſen, und ſelbſt auf ein Hufeiſen mit vorgelegtem Anker anwenden läßt. Wenn man vier Stäbe zu einem Vierecke mit einander verbindet, ſo können zwei derſelben auch Magnete ſein, die man parallel ſo neben einander hinlegt, daß ihre ungleichnamigen Pole einander gegenüber liegen. Nach einer Prüfung von Dove ſoll der Kreisſtrich, wenn er auf beiden Seiten eines Stabes angewendet wird, von beträchtlicher Wirkung ſein.

Man kann nun auch eine größere Anzahl von Stahlſtäben nach einem Verfahren von Coulomb gegenſeitig bis zur Sättigung magnetiſiren, ohne daß man anfänglich ſtarke Stahlmagnete zur Hand hat. Man macht nämlich zunächſt die Stäbe, deren an der Zahl zwölf ſein mögen, in verticaler Stellung durch die Wirkung des Erdmagnetismus und durch Hämmern magnetiſch. Alsdann nimmt man zwei Stäbe, legt ſie parallel mit den ungleichnamigen Polen neben einander und verbindet ſie durch kurze Stücke weichen Eiſens. Die noch übrigen zehn Stäbe vertheilt man aber in zwei Bündel, ſetzt dieſe mit entgegengeſetzten Polen auf die Mitte eines der beiden Stäbe, und ſtreicht wie beim Doppel- oder Kreisſtrich. Hiernach wird aus jedem Bündel ein Stab herausgenommen und derſelbe durch einen der beiden verſtärkten Stäbe erſetzt. Dann magnetiſirt man die herausgenommenen Stäbe in der vorigen Weiſe, und ſetzt die ganze Operation bis zur Sättigung aller Stäbe fort.

Coulomb fand, daß die Kraft magnetiſcher Magazine, die in bereits angegebener Weiſe aus einzelnen Magnetſtäben gebildet werden, in einem bedeutend geringeren Verhältniſſe zunimmt als die Anzahl der einzelnen Stäbe. Auch nimmt dieſe Kraft nach der Mitte hin ab, wenn das Magazin aus vielen gleich ſtarken Magnetſtäben beſteht.

Die Tragkraft eines Magnetſtabes iſt zu unterſcheiden von deſſen Wirkung in die Ferne, wenn derſelbe z. B. an einer in einem gewiſſen Abſtand von ihm befindlichen Magnetnadel eine Ablenkung aus ihrer Gleichgewichtsſtellung hervorbringt. Bezüglich der Tragkraft macht ſich die Rückwirkung des Ankers ſehr geltend, welcher von Seiten des Magnetſtabes durch Vertheilung magnetiſirt wird und dann auch wieder den Magnetismus des Stabes erhöht. Der Einfluß des Ankers auf die Tragkraft geradliniger Elektromagnete (ſ. d. Art. Elektromagnetismus Bd. III. S. 796) iſt von Dub näher unterſucht worden. Dieſer Einfluß des Ankers auf die Vergrößerung der Tragkraft iſt namentlich auffallend bei hufeiſenförmigen Magnetſtäben, bei denen beide Pole durch einen Stab aus weichem Eiſen mit einander verbunden werden. Ueber die Tragkraft der Hufeiſenmagnete hat P. W. Häcker *) vielfache Verſuche angeſtellt. Seine Unterſuchungen beziehen ſich, wie er bemerkt, auf den beſtändigen mit gleicher Kraft fortwirkenden Magnetismus, welcher derſelbe bleibt, der Anker mag auch noch ſo oft abgeriſſen werden, — alſo auf ſolche Magnete, die, wie man gewöhnlich zu ſagen pflegt, geſättigt ſind. Die Ermittelungen des Tragvermögens verſchiedener von ihm verfertigter Magnete führten ihn zu der Formel $a = n \sqrt[3]{P}$, wo n das

*) Pogg. Ann. Bd. LVII. S. 321.

Verhältniß der Tragkraft zu dem Gewichte des Magnets, P die Masse oder das Gewicht des letzteren, und α eine constante Größe bezeichnet, welche das Tragvermögen eines Magnets von der Gewichtseinheit bedeutet. (In logarithmischer Form hat man $\log \alpha = \log n + \frac{1}{3} \log P$.) Aus dieser Formel ergiebt sich, daß, wenn viele kleine Magnete mit einander verbunden werden, das Tragverhältniß eines Magnets abnimmt, wie die dritte Wurzel aus der Masse zunimmt. Häcker gab seiner Formel noch eine andere Gestalt. Bezeichnet man nämlich das Tragvermögen durch Z und setzt man $\frac{Z}{P}$ für n, so erhält man $\alpha = \frac{Z}{\sqrt[3]{P^2}}$ oder $Z = \alpha \sqrt[3]{P^2}$. Bei gleichem Werthe von α verhalten sich hiernach die Quadrate der Gewichte oder Massen zweier Magnete wie die Cubi ihrer Tragkräfte. — Die Tragkraft mehrerer Magnetstäbe zusammengenommen ist etwas größer als die eines einzigen Stabes von gleichem Gewichte. — Zur Ermittelung der Tragkraft eines Magnets ist es erforderlich, daß derselbe senkrecht aufgehangen sei, und daß die Flächen seiner Pole mit der Horizontalebene parallel laufen. Die Last muß genau in der Mitte angebracht sein; auch darf sich der Magnet dabei nicht im mindesten verrücken. — Die Form hat nach Häcker keinen Einfluß, falls dieselbe nicht allzusehr von der gewöhnlichen abweicht. Innerhalb der Grenzen, zwischen denen sich seine Versuche bewegten, ist es gleichgültig, ob der Querschnitt der Schenkel des Magnets quadratisch, oder zwei bis drei Mal so breit als dick ist, ob sie etwas länger oder kürzer, und ob sie etwas näher oder entfernter von einander sind.

Während Magnete von 1 bis 2 Pfund Gewicht in der Regel kaum das Zehnfache ihres Gewichts zu tragen vermögen, tragen Magnete von wenigen Granen oft mehr als das Fünfzigfache ihres eigenen Gewichtes. So spricht Cavallo von einem Magneten, der 7 Gran wog und doch 300 Gran trug. Ein Magnet von 1 Gran trug armirt 764 Gran, und ein anderer von 3 Gran trug armirt 1032 Gran *). Coulomb's Magnete trugen 100 Pfund bei 20 Pfund Gewicht. Hoffer verfertigte aus feinem Uhrstahl von dichtem und gleichförmigem Gefüge Magnete, welche bei einem Gewichte von 22 Loth 10 Pfund tragen konnten. Die parallelen Schenkel dieser Magnete waren 1 Zoll breit, 0,13 Zoll dick und 7,25 Zoll lang. Der Abstand der Schenkel betrug 0,16 Zoll. — Magnete von ungewöhnlicher Tragkraft erzeugt man am bequemsten durch den elektrischen Strom (s. d. Art. Elektromagnetismus). Die Tiefe, bis zu welcher der Elektromagnetismus in weiches Eisen eindringt, scheint nach einer Untersuchung von Feilitzsch **) der Stromstärke proportional zu sein.

Kräftige Stahlmagnete verfertigt der Mechanikus W. M. Logeman in Haarlem nach einer Methode von Elias. Ein Hufeisenmagnet, der aus einer einzigen Lamelle bestand, und nur 1,09 Pfund preuß. (0,5125 Kilogramm) wog, besaß, wie Poggendorff ***) berichtet, eine constante Tragkraft von 31,5 Pfund preuß. (14,75 Kilogr.), eine Kraft, die mehr als doppelt so groß ist,

*) Baumgartner's Naturlehre 1842. S. 347.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXX. S. 321.
***) Annalen. Bd. LXXX. S. 178.

wie sie von der Häcker'schen Formel $Z = a \sqrt[3]{P^2} = 10{,}33 \sqrt[3]{P^2}$ gefordert wird.

Logeman übersandte Poggendorff folgenden Preiscourant, in welchem die Tragkräfte in preuß. Pfunden, die Preise in holländ. Gulden (die Verpackung mit eingerechnet) angegeben sind. Die beiden ersten Nummern bestehen aus einer Lamelle, Nr. 3, 4 und 5 aus drei, und die drei letzten aus fünf Lamellen. Die angegebenen Tragkräfte sind constant, erhalten sich also noch nach wiederholtem Abreißen der Anker.

Nr.	Tragkraft	Preis	Nr.	Tragkraft	Preis
1	25	10	5	150	95
2	40	17	6	200	128
3	80	42	7	300	170
4	120	78	8	400	240

Auf die Stärke und Dauer des Magnetismus im Stahle ist die Beschaffenheit des letzteren von sehr merklichem Einflusse. Es ist nicht nur die ursprüngliche Beschaffenheit des Materials, sondern auch der Härtegrad des zu magnetisirenden Stahles zu berücksichtigen. In Bezug auf die ursprüngliche Güte des Materials kommt es vorzüglich auf Feinheit des Korns, auf dichte und möglichst vollkommene Gleichartigkeit des Gefüges an. Jede Unterbrechung in der Gleichförmigkeit der inneren Textur ist von Nachtheil für die Empfänglichkeit des Stahles zur Annahme des Magnetismus und für die Fortpflanzung des letzteren in demselben. Durch gleichförmiges Ausschmieden und Härten können aber, wie Baumgartner*) gezeigt hat, auch geringere Stahlsorten brauchbar gemacht werden. Was den Härtegrad anlangt, welcher dem zu einem Magnete bestimmten Stahle ertheilt werden muß, so hängt derselbe selbst wieder von der Beschaffenheit des Materials ab. Es läßt sich dem Stahl der höchste Härtegrad ertheilen, wenn man ihn hell rothglühend macht und rasch in kaltem Wasser oder Quecksilber ablöscht. So gehärteter Stahl ist zwar weniger empfänglich für die Einwirkung des Streichmagnets, nimmt aber allmälig einen starken und sehr andauernden Magnetismus an. Doch ist er auch sehr zerbrechlich, und es entstehen während des Magnetisirens leicht Folgepunkte in ihm. Deshalb pflegt man zur Anfertigung von Magnetnadeln den angelassenen Stahl vorzuziehen. Dieser entsteht, wenn man den glasharten Stahl über Kohlenfeuer langsam erwärmt; der letztere verliert dabei seine anfängliche Härte und Sprödigkeit und nimmt auf seiner Oberfläche mit wachsender Temperatur eine Reihe schöner Farben an (hellgelb oder strohgelb, bronze, tieforange, röthlichviolett, hellblau, glänzende grünlich-blaue Farbe (Wasserfarbe)). Die sogenannte Wasserfarbe des Stahls entspricht einer Temperatur von etwa 450°. Versuchen zufolge ist Stahl, welcher bis zur blauen (Uhrfeder) und selbst bis zur Wasserfarbe angelassen ist, zu künstlichen Magneten

*) Zeitschrift für Phys. u. verw. Wiss. Bd. III. S. 66.

ſehr geeignet. Im Allgemeinen hält man ein Anlaſſen bis zur ſtrohgelben Farbe für genügend.

Häcker *) fand bei ſeinen Verſuchen, daß auch ungehärteter Stahl, wenn er ſonſt die gehörigen Eigenſchaften beſitzt, eine bedeutende magnetiſche Kraft dauernd annimmt. Wenigſtens war die Kraft eines derartigen Stabes innerhalb eines Zeitraumes von dreizehn Monaten unverändert geblieben. Von dieſer Eigenſchaft des Stahles läßt ſich, wie Häcker bemerkt, öfter ein nützlicher Gebrauch machen. Da es nämlich bei manchen Verſuchen vortheilhaft iſt, ſich langer Stäbe von geringer Maſſe zu bedienen, dieſelben ſich aber beim Härten immer etwas verziehen, ſo findet dieſer Uebelſtand bei ungehärteten nicht ſtatt, wodurch man in den Stand geſetzt iſt, ihnen eine vollkommen genaue Form zu geben.

Nobili **) unterſuchte zwei eiſerne Cylinder von gleicher Länge und gleichem Durchmeſſer, deren einer aber maſſiv, der andere ſeiner Länge nach durchbohrt war, auf ihre magnetiſche Kraft. Nachdem beide Cylinder gehärtet und bis zur Sättigung magnetiſirt waren, zeigte der durchbohrte Cylinder eine viel größere magnetiſche Kraft als der maſſive.

Bemerkt ſei hier, daß weiches Eiſen wie durch Kohlenſtoff ſo auch durch einen Zuſatz von Schwefel und Phosphor die Eigenſchaft erhält, dauernd magnetiſch zu werden.

Bei den meiſten künſtlichen Magneten, die eine mehr oder weniger längliche Geſtalt haben, findet die Vertheilung des Magnetismus in der Richtung der Längenaxe ſtatt, ſo daß auf dieſer die entgegengeſetzten Pole liegen. Es iſt nun noch eine andere Weiſe der Magnetiſirung möglich, die allerdings von der vorigen im Weſentlichen gar nicht verſchieden iſt, bei der aber die Pole in einer gegen die Längenaxe quer ſtehenden Richtung zu liegen kommen. Einen ſolchen Magnet nennt man Transverſalmagnet (Quermagnet). Hängt man denſelben frei wie eine Magnetnadel auf, ſo ſtellt er ſich mit der Längenaxe in die Richtung von Oſt nach Weſt, indem er, wie ein anderer Magnet, ſeine nordpolariſche Seite gegen Nord, ſeine ſüdpolariſche gegen Süd kehrt. Einen etwas breiten Stahlſtreifen kann man leicht ſo magnetiſiren, daß er auf der einen Längenkante Nordpolarität, und auf der anderen Südpolarität erhält. In derſelben Weiſe können bei einem vierkantigen Prisma die diagonal gegenüberliegenden Kanten eine gleichnamige Polarität erhalten. Prechtl ***) wickelte zur Darſtellung eines Transverſalmagnets auf eine Glasröhre oder auf einen hölzernen Cylinder feinen oder gröberen Stahldraht in Spiralen auf, ſo daß ſich dieſe einander berührten und als ein zuſammenhängender Cylinder die Unterlage bedeckten. Hierauf wurden zwei diametral gegenüberliegende Seiten des Cylinders in der Richtung der Axe mit dem Nord- und Südpol eines Magnetpols beſtrichen. Der Cylinder wurde hierdurch ſeiner ganzen Länge nach auf der einen Seite nord-, auf der anderen ſüdpolariſch. Schmidt ****) bewirkte eine ganz ähnliche Magnetiſirung durch die Entladung einer Leydner Flaſche, indem er den Schlag durch einen Metalldraht

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIV. S. 394. 407.
**) Bibl. univ. 1834. p. 82.
***) Gilbert's Ann. Bd. LXVII. S. 289.
****) Gilbert's Ann. Bd. LXX. S. 229.

nahe über dem Cylinder (aus Stahldraht) leitete. Schon Beccaria stellte Transversalmagnete dadurch dar, daß er elektrische Schläge durch Nadeln oder Stäbe in einer bestimmten Richtung hindurchführte. — Wenn man mehrere Magnetstäbe in einem kreisförmigen Ringe befestigt, so daß sie wie die Radien desselben in der Mitte (bis auf einen kleinen Zwischenraum) mit ihren ungleichnamigen Polen einander gegenüberliegen, so wird ein durch die Mitte gezogener Stahldraht oder Stab in der Art magnetisirt, daß an ihm so viele Reihen von diametral gegenüberliegenden Polen entstehen, als Magnetstäbe benutzt wurden.

In früherer Zeit hat man sich auch vielfach bemüht, künstliche Magnete, gewissermaßen als Nachahmung der natürlichen, herzustellen aus Gemengen von Eisenoxyd oder Eisenstaub (Stahlstaub) mit zähflüssigen Substanzen, wie Leinöl. So erhält man einen Brei oder Kleister, der bei mäßiger Hitze getrocknet endlich eine hinlängliche Festigkeit erlangt *). Die ersten derartigen Versuche stellte Knight an. Nachher hat Ingenhouß **) ähnliche Magnete verfertigt, indem er pulverisirten Magnet (Magnetstaub), Kohlenstaub und Leinöl oder statt der letzteren Käse mit fein gepulvertem ungelöschten Kalk anwendete. Auch mengte er Magnetstaub mit Wachs, um biegsame Magnete zu erhalten. Derselbe fand, daß derartige mit Magnetstaub verfertigte Magnete stärker waren als solche, welche mit Eisen verfertigt waren, und daß man in ihrer Masse beliebig viele magnetische Pole durch einfache Berührung mit einem magnetisirten Stabe erzeugen konnte. Den Magneteisenstein oder das magnetische Eisenoxydoxyd kann man nach Keßler und Böttcher künstlich darstellen, wenn man einen Hufeisenmagnet in Eisenfeile steckt und die daran hängenbleibende Eisenfeile in die Form einer kleinen Stange bringt, welche man mit einem Löthrohr gehörig durchglüht.

Um das Magnetisiren durch Streichen zu befördern, hat man die Erwärmung der zu magnetisirenden Stäbe (bis zu einem gewissen Temperaturgrade) empfohlen ***). Die Wärme erhöht die Empfänglichkeit des Eisens für die Annahme des Magnetismus, und schon Robison fand, daß ein kleiner rothglühend gemachter Stab zwischen zwei Magnetpolen abgelöscht stärker als auf irgend eine andere Weise magnetisch werde. Ein Eisenstab soll, wie man mitunter zu sagen pflegt, durch plötzliche Abnahme der Wärme magnetisch werden. So wird ein solcher Stab, wenn man ihn, nachdem er rothglühend gemacht worden, in lothrechter Stellung in Wasser taucht, dergestalt magnetisch, daß sein unteres Ende einen Nordpol, das obere einen Südpol erhält. Hier ist es wieder der Erdmagnetismus, dessen magnetisirende Wirkung auf den Eisenstab durch die Erhitzung des letzteren begünstigt wird. Umgekehrt wird die im Stahle schon vorhandene magnetische Kraft durch die Wärme geschwächt. Ueber den Einfluß der Wärme auf den Magnetismus wird weiter unten ausführlicher die Rede sein.

Es ist schon im Art. Licht Bd. IV. S. 480 unter Beifügung der nöthigen literarischen Nachweisungen hervorgehoben worden, daß man auf Grund gewisser Versuche auch dem Sonnenlichte eine magnetisirende Wirkung zugeschrieben habe. Morichini experimentirte mit stählernen Nadeln, wie sie zu Boussolen gebraucht

*) Phil. Trans. Vol. LXIX. for 1778. No. 5.
**) Vermischte Schriften. Th. I. S. 402.
***) Fr. Fischer: Praktische Anleitung zur Verfertigung künstlicher Magnete. 1833.

werden. Dieſelben waren mittelſt gläſerner Hütchen leicht auf Spitzen beweglich, und wurden auf einem hölzernen Lineal in die äußerſte Grenze der violetten Strahlen des Sonnenſpectrums gebracht. Hier erlangten ſie nach einiger Zeit die Fähigkeit, ſich in den magnetiſchen Meridian zu ſtellen. Die Wirkung wurde beſchleunigt und verſtärkt, wenn die violetten Strahlen durch biconvexe Gläſer concentrirt auf die Nadel fielen. Barlocci bewegte das concentrirte violette Bild von der Mitte der Nadel nach dem Nordende und dann in derſelben Weiſe nach dem Südende hin. Die ſo behandelten Nadeln ſtellten ſich nicht allein in den magnetiſchen Meridian, ſondern konnten auch ganze Bündel von Eiſenfeilicht tragen. Blaues und grünes Licht ſollen ebenfalls, obſchon in geringerem Grade als violettes Licht, Magnetismus in Stahlnadeln erregen, nicht aber rothes und gelbes, ſelbſt nicht nach dreitägiger Fortſetzung des Verſuches. Als günſtige Bedingung zum Gelingen des Verſuches mit violettem Lichte wird angegeben, daß der Himmel heiter ſein müſſe. — Gegen dieſe Verſuche trat Configliachi auf *), der in einem dunklen Zimmer Nadeln aus weichem Eiſen und Stahl auf feinen Spitzen ſchweben ließ. Dieſelben waren durch Glasglocken gegen den Luftzug geſchützt und in hinreichender Entfernung von einander; ſie blieben vier Monate lang im Dunklen und wurden täglich unterſucht. Es ſtellte ſich heraus, daß die meiſten dieſer Nadeln eine Richtung annahmen, die von derjenigen des magnetiſchen Meridians nur wenig abwich, und daß einige in demſelben lagen. Nadeln aus weichem polirten Eiſen gaben gewöhnlich am erſten ein Zeichen von aufgenommenem Magnetismus, ſpäter die aus hartem Eiſen und noch ſpäter die aus Stahl. Lange Nadeln wurden ſchneller magnetiſch als kurze. Bei Nadeln, deren eines Ende ſchon vor dem Verſuche tiefer lag, als das andere, wurde das tiefere immer nordpolariſch. — In einem hellen Zimmer mit weißen Wänden (in den dunkeln waren die Wände ſchwarz angeſtrichen) zeigten die Nadeln dieſelben Erſcheinungen. Nadeln aus Eiſen und Stahl, auf welche im dunklen Zimmer Sonnenlicht geleitet wurde, blieben unmagnetiſch, auch wenn das Licht nur auf das eine Ende der Nadeln fiel. Concentration der Sonnenſtrahlen durch eine Linſe verrieth einige Wirkung, namentlich bei eiſernen Nadeln. Hier war es aber nach Configliachi die Wärme, welche das Eiſen für den Magnetismus empfänglicher machte. Das violette Licht erwies ſich als ganz unwirkſam, wenn die Nadeln nicht, wie nach Morichini's Verfahren, eine Zeit lang im Meridian gehalten wurden. Configliachi zieht aus ſeinen Verſuchen folgende Schlüſſe:

Die Eiſen- und Stahlnadeln, die man gewöhnlich für nicht magnetiſch hält, ſind ſelten ohne allen Magnetismus, und ſie nehmen auf jeden Fall einen Theil deſſelben im Verlaufe der Zeit an. Dies geſchieht durch die Einwirkung des Erdmagnetismus, welche durch die Richtung und Lage, die man den Nadeln giebt, nämlich diejenige der Abweichungs- und Neigungsnadel, ferner durch Wärme merklich begünſtigt wird. Weder das reine Sonnenlicht, noch irgend einer der farbigen Strahlen gehören zu dieſen Begünſtigungsmitteln, noch viel weniger können ſie durch ſich die magnetiſche Kraft mittheilen. Die Wirkung der concentrirten Sonnenſtrahlen iſt einzig der bedeutenden Wärme zuzuſchreiben, welche durch ſie entwickelt wird.

*) Journ. de Phys. Sept. 1813; Gilbert's Ann. Bd. XLVI. S. 337.

Später experimentirte Lady Sommerville in dieſer Angelegenheit dem Anſcheine nach mit günſtigem Erfolge. Dieſelbe legte eine unmagnetiſche, zur Hälfte mit Papier bedeckte Stahlnadel von etwa 1 Zoll Länge in einem dunkeln Zimmer in das violette Spectrum des Sonnenlichts. Nach einigen Stunden war dieſe Nadel magnetiſch, und das dem Lichte ausgeſetzte Ende zeigte einen Nordpol. Daſſelbe gelang mit Uhrfedern. Und die Wirkung wurde durch Concentration der Strahlen mittelſt einer Linſe ſehr befördert. Grüne und blaue Bänder, in welchen die Nadel zur Hälfte eingewickelt war, brachten der Sonne ausgeſetzt dieſelbe Wirkung hervor, wenn die andere Hälfte der Nadel auf andere Weiſe bedeckt war; eben ſo grüne oder violette Gläſer. Dagegen waren rothe, gelbe oder orange Seide und Gläſer unwirkſam. Lady Sommerville fand als die günſtigſte Zeit zum Gelingen dieſer Verſuche die Zeit zwiſchen 10 und 1 Uhr im Sommer.

Hiernach machte auch Baumgartner dieſe Sache zum Gegenſtande ſeiner Unterſuchungen. Derſelbe bemerkte, daß ſchon eine ungleiche Einwirkung des weißen Lichts auf die entgegengeſetzten Theile der Nadel hinreichend ſei, den Stahl magnetiſch zu machen. Stahlnadeln, die an dem einen Ende polirt waren, nahmen hier (an dieſem Ende) den Nordpol, am anderen den Südpol an. Um den Unterſchied zwiſchen den Einwirkungen des Lichts auf die beiden Hälften der Nadeln zu ſteigern, wurden die letzteren vollſtändig ausgeglüht, ſo daß ſie ſich mit ſchwarzem Oxyd bedeckten. Das letztere wurde an dem einen Ende mittelſt eines geölten Steines entfernt, und dieſes Ende dann vollends mit Kreide und Lindenholz polirt. Das andere Ende behielt ſeine Oxydhaut. Dieſe Nadeln erlangten in kurzer Zeit, dem Sonnenlichte ausgeſetzt, magnetiſche Polarität, dergeſtalt, daß das polirte Ende wieder einen Nordpol erhielt. Zwei durchweg polirte und mehrere ganz ſchwarz gelaſſene Nadeln verriethen durch längere Einwirkung des Sonnenlichts keinen Magnetismus. — Später ſtellte Zantedeschi Verſuche an mit Drähten aus weichem Eiſen, ſowohl im weißen Sonnenlichte als auch im violetten Theil des Spectrums. Auch er ſpricht ſich auf Grund ſeiner Verſuche für einen magnetiſchen Einfluß des Sonnenlichtes aus, obſchon die Reſultate dieſer Verſuche nicht ganz mit denen von Morichini und Barlocci übereinſtimmen. So erhält man nach ihm nur ſchwache und ungewiſſe Wirkungen, wenn man den violetten Strahl von der Mitte bis zum Ende der Nadel führt.

Rieß und Moſer unterzogen ſich einer ſehr genauen und ſorgfältigen Unterſuchung dieſes Gegenſtandes. Die Methoden, welche man angewendet hatte, um die dem Sonnenlichte ausgeſetzten Nadeln auf ihren Magnetismus zu prüfen, beſtanden erſtens in der Richtung der Nadel in den magnetiſchen Meridian, zweitens in ihrer Abſtoßung einer frei ſchwebenden Magnetnadel, und drittens in der Anziehung von Eiſenfeile. Was die erſte erwähnte Methode betrifft, ſo iſt ſie wohl zum Nachweis eines ſtarken, andauernden, nicht aber eines ſchwachen und ungewiſſen Magnetismus ausreichend. Anſtatt die Nadeln auf Spitzen zu legen, empfehlen ſie das Aufhängen derſelben an einem ungedrehten Seidenfaden. Unter mehreren hundert wohl ausgeglühten Nadeln fanden nun dieſe Phyſiker nur wenige (zwei bis drei), die nicht in einigen Minuten ein deutliches Streben nach dem magnetiſchen Meridian gezeigt hätten. Der eigentliche Werth dieſer Prüfungsmethode ergiebt ſich hieraus von ſelbſt. Bezüglich der zweiten Methode, der Abſtoßung einer beweglichen Magnetnadel, machen ſie die Bemerkung, daß dieſe

Nadel nicht ein ſolches Uebergewicht magnetiſcher Kraft beſitzen dürfe, daß dieſelbe den Magnetismus der zu prüfenden Nadel überwinden könne. In dieſem Falle geht die Abſtoßung bei großer Nähe leicht in Anziehung über. Außerdem erfordere die Anwendung dieſer Methode noch eine beſondere Vorſicht. Wenn nämlich das zu prüfende Ende der Nadel nur ein wenig niederwärts geneigt oder wenn die Nadel nicht winkelrecht auf den magnetiſchen Meridian gehalten wird, ſo macht ſich nothwendig die Wirkung des Erdmagnetismus geltend. Die dritte Methode leidet an demſelben Fehler. Um die Anziehungskraft des einen Endes der Nadel zu prüfen, wird dieſe gewöhnlich in geneigter Richtung in die Eiſenfeile gehalten, wodurch das tiefer liegende Ende nordpolariſch wird. — Rieß und Moſer hingen die zu prüfenden Nadeln an einem Coconfaden auf, und bedienten ſich der Schwingungsmethode (ſ. weiter unten). Die Nadeln wurden nicht durch Ablenkung von Seiten eines Magnets in Schwingung geſetzt, ſondern vermittelſt eines leicht auszulöſenden Kupferhakens. Dieſelben waren meiſt aus engliſchem Stahl, und wurden erſt einige Tage nach ihrem Ausglühen zu den Verſuchen verwendet. Die Behandlung dieſer Nadeln mit dem violetten Theile des Sonnenſpectrums (nach Morichini's und Barlocci's Weiſe) gab faſt eben ſo oft eine Verminderung als eine Vermehrung der Schwingungszeit, ſo daß daraus auf eine Vermehrung oder Erweckung von Magnetismus gewiß nicht geſchloſſen werden konnte. Polirte Nadeln und Uhrfedern, wie ſie Lady Sommerville angewendet hatte, führten zu demſelben Reſultate. — Als das eine Ende einer unmagnetiſchen Nadel dem Südpol einer beweglichen Magnetnadel ſo nahe gebracht worden war, daß ihre Schwingungszeit um eine gewiſſe Größe abgenommen hatte, wurde der violette Lichtſtrahl auf dieſes Ende gelenkt. Es hätte nun hierdurch die Nordpolarität dieſes Endes erhöht und demgemäß die Schwingungszeit der Magnetnadel vermindert werden müſſen. Allein ſie blieb unverändert, ſelbſt dann, wenn das violette Licht im concentrirten Zuſtande angewendet wurde. Daß, wie in den Verſuchen von Baumgartner, die eine Hälfte der Nadel ſchon durch das Poliren nordpolariſch wird, leiten die beiden Phyſiker daraus ab, daß die Nadel beim Poliren nach Norden gerichtet und mit dieſem Ende etwas geſenkt war, wo dann der Erdmagnetismus wirkſam werden mußte. Wenn daſſelbe Ende nach Süden gerichtet und erhoben wurde, ſo nahm es Südpolarität an. Verſuche mit Nadeln, die zur Hälfte polirt waren und unter dem Einfluſſe des Sonnenlichtes auf ihre Schwingungszeit geprüft wurden, führten zu keinem Reſultate, das zu Gunſten einer magnetiſirenden Wirkung des Sonnenlichtes hätte ausgelegt werden können. Auch die Anwendung des polariſirten Lichtes hatte keinen Erfolg. — Nachdem diejenigen Verſuche, deren Reſultate am meiſten für eine magnetiſche Wirkung des Sonnenlichtes zu ſprechen ſchienen, einer ſorgfältigen Prüfung unterworfen waren, hielten es Rieß und Moſer nicht für nöthig, die Verſuche Zantedeschi's prüfend zu wiederholen, namentlich da dieſer mit Nadeln aus weichem Eiſen experimentirt hatte, welche ſo leicht dem Einfluſſe des Erdmagnetismus ausgeſetzt ſind. Der höchſt wahrſcheinliche Schluß, zu dem die von Rieß und Moſer mit ſo großer Sorgfalt angeſtellten Unterſuchungen führten, iſt nun der, daß der behauptete Einfluß des Sonnenlichts ſeinen Grund in den Methoden hat, welche zur Prüfung deſſelben angewendet worden ſind. Verſuche von Sebeck führten endlich ebenfalls zu keinem, die Magnetiſirung durch das Sonnenlicht beſtätigenden Reſultate.

Christie*) kam durch die Vergleichung der Schwingungszeiten einer magnetisirten Nadel, die er im Schatten und in der Sonne oscilliren ließ, zu der Meinung, daß der Magnetismus durch die Sonnenstrahlen selbst eine Veränderung (Verstärkung) erleide. In der Sonne kam die Nadel merklich früher als im Schatten zur Ruhe. Nach Baumgartner**), der hierüber ebenfalls Versuche anstellte, rührte die Verminderung des Schwingungsbogens einer horizontal schwingenden Magnetnadel im Sonnenlichte nicht von einer magnetischen Kraft des letzteren her, sondern sie ist die Folge von Strömungen und Wirbeln, welche durch die Erwärmung von außen in der eingeschlossenen Luft des Gehäuses der Magnetnadel hervorgebracht werden.

Man ist also nach den vorliegenden Thatsachen noch keineswegs zur Annahme einer magnetisirenden Wirkung des Sonnenlichtes berechtigt.

Die Wirkungsgesetze der magnetischen Kräfte sind zuerst von Coulomb***) genauer untersucht worden. Er benutzte hierzu zwei Methoden, welche zu demselben Resultate führten. Die eine ist die sogenannte Oscillationsmethode, die andere beruht auf der Eigenthümlichkeit der Drehwage (s. d. Art.), die hier in ähnlicher Weise wie bei der Messung elektrischer Kräfte (Art. Elektrometer) zur Anwendung kommt. Durch Coulomb wurde das Gesetz bestätigt, daß die Anziehungen und Abstoßungen der magnetischen Elemente sich verhalten umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen. Man hatte dieses Gesetz wohl schon früher als der Wahrscheinlichkeit gemäß angenommen, so wie es dann auch bei den Versuchen verschiedener Physiker innerhalb gewisser Grenzen zu Tage getreten war ****).

Wenn eine Magnetnadel in einer horizontalen Ebene frei beweglich ist, so nimmt sie vermöge der Einwirkung des Erdmagnetismus eine bestimmte Richtung an, welche in der Ebene des magnetischen Meridians (s. d. Art. Magnetismus der Erde) liegt. Wird sie nun durch eine äußere Ursache aus dieser Richtung abgelenkt, so kehrt sie in die letztere nach einer Reihe von Schwingungen stets wieder zurück, und zwar mit einer Geschwindigkeit oder Energie, welche von der Kraft des Erdmagnetismus und dem freien Magnetismus der Nadel abhängig ist. Diese Energie wird aus der Anzahl der Oscillationen gemessen, die sie in einer gegebenen Zeit ausführt. Eine solche Magnetnadel verhält sich nämlich in Bezug auf die magnetischen Kräfte der Erde wie ein gewöhnliches Pendel in Bezug auf die Schwere. Hier wie dort verhalten sich die bewegenden Kräfte wie die Quadrate der Schwingungszahlen oder auch umgekehrt wie die Quadrate der Schwingungszeiten.

Kennt man nun die Anzahl der Schwingungen, welche eine Magnetnadel

*) Phil. Trans. for 1826. Baumgartner's Zeitschrift ꝛc. Bd. III. S. 96.

**) Zeitschrift f. Phys. u. verw. Wiss. Bd. III S. 157.

***) Mém. de l'acad. 1785. p. 606.

****) Lambert: Hist. de l'acad. roy. de Berlin 1765. p. 22. Götting. Gelehrt. Anz. 1760 (T. Mayer). Musschenbroek, dissertatio physica experimentalis de magnete, Lugd. Batav. anno 1729. edita. Viennae Austr. 1754. Dalla Bella: vergl. Gehler's phys. Wörterbuch. N. A. Bd. VI. S. 756.

in einer gewiſſen Zeit macht, wenn ſie nur der Einwirkung des Erdmagnetismus unterworfen iſt, und dann auch diejenige Anzahl von Schwingungen, welche ſie unter gleichzeitiger Einwirkung des Erdmagnetismus und eines Magnetſtabes macht (der mit demſelben in gleichem Sinne auf die Nadel wirkt), ſo ergiebt ſich hieraus leicht ein Maß für die Wirkung dieſes Stabes. Eine ſehr kleine Magnetnadel, welche an einem Coconfaden aufgehängt und vor Störungen durch zufällige Bewegungen der Luft geſchützt iſt, werde nun in Bezug auf die Anzahl der Oscillationen, die ſie unter dem alleinigen Einfluſſe des Erdmagnetismus in einer gewiſſen Zeit macht, beobachtet. Sie mache 15 Schwingungen in 1 Minute, und M bezeichne die horizontal auf ſie einwirkende Kraft des Erdmagnetismus. Man laſſe auf ſie den anziehenden Pol eines langen magnetiſirten Stahldrahtes wirken (ſ. nebenſtehende Figur), welcher vertical in der Ebene des magnetiſchen Meridians ſo gehalten wird, daß dieſer Pol in gleiche Höhe mit der Nadel zu liegen kommt. Coulomb gebrauchte Stahldrähte von $1^1/_2$ bis 2 Linien Durchmeſſer und 24 bis 25 Zoll Länge. Die Nadel machte nun in den Verſuchen Coulomb's 4 Zoll von dem Drahte entfernt 41 Oscillationen in 1 Minute. Die auf ſie einwirkenden Kräfte waren $M + M'$, wenn M' die Wirkung des Drahtes in dieſer Entfernung bezeichnet. Bei einer zweiten Beobachtung, als die Nadel 8 Zoll von dem Drahte entfernt war, machte ſie 24 Oscillationen in 1 Minute. Die auf die Nadel einwirkenden Kräfte waren jetzt $M + M''$, wo M'' die in der Entfernung von 8 Zoll auf die Nadel ſtattfindende Wirkung des Drahtes iſt. Man hat nun

$$\frac{M + M'}{M} = \frac{41^2}{15^2} \text{ und } \frac{M + M''}{M} = \frac{24^2}{15^2}.$$

Hieraus folgt

$$\frac{M'}{M''} = \frac{41^2 - 15^2}{24^2 - 15^2} = \frac{1456}{351} = 4{,}1.$$

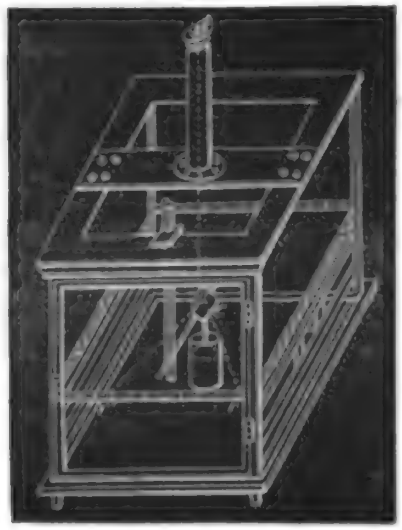
Bei der zweiten Beobachtung beträgt alſo die Entfernung doppelt ſo viel und die Kraft iſt $^1/_4$ ſo groß als bei der erſten Beobachtung, worin das Geſetz der Abnahme der magnetiſchen Wirkſamkeit nach dem Quadrate der Entfernung deutlich hervortritt.

Die magnetiſche Drehwage, welche Coulomb zur Beſtätigung deſſelben Geſetzes gebrauchte *), zeigt die umſtehende Fig. I. An dem unteren Ende des feinen Drahtes iſt eine dünne Hülſe angebracht, in welche die Magnetnadeln gelegt werden. Um die Oscillationen der Nadel zu verhindern, läßt ſich an die Hülſe ein Flügel befeſtigen, welcher in ein Gefäß mit Waſſer taucht. Um den Glaskaſten, welcher die Nadel umgiebt, iſt eine Gradeintheilung auf Papier gelegt, durch deren Mittelpunkt die Nadel gehen muß, und wenn dies der Fall iſt, ſo müſſen die Punkte 0^0, 180^0 und der Faden in einer geraden Linie liegen, und eben ſo die Punkte 90^0, 270^0 und der Faden ꝛc. Iſt die Wage gehörig eingerichtet, ſo beſtimmt man die Gleichgewichtsſtellung des Fadens oder des feinen

*) Biot: Trait. de phys. T. III. p. 63.

Drahtes, indem man in die Hülſe eine nicht magnetiſirte Nadel legt. Hierauf bringt man eine Magnetnadel in die Hülſe und dreht das oben angebrachte Mikrometer, deſſen Einrichtung im Art. Drehwage beſchrieben iſt, in dem einen oder anderen Sinne, bis die vorhin beſtimmte Gleichgewichtsebene des Fadens mit der Richtung der Nadel zuſammenfällt. Dann befindet ſie ſich in der Richtung des magnetiſchen Meridians, und der Faden oder Draht hat keine Drehung erlitten. Nehmen wir jetzt an, das Mikrometer werde gedreht, um die Nadel aus ihrer Stellung zu entfernen. Sie werde dadurch in die Stellung VA' (in beiſtehender Fig. II., welche einen Horizontaldurchſchnitt darſtellt, der dem unteren Ende des dünnen Drahtes entſpricht) gebracht, ſo daß ſie mit dem magne-

I.



II.

tiſchen Meridian MM' einen Winkel AVA' = 20° macht. Geſetzt man müßte zu dieſem Zwecke das Mikrometer um 180° drehen, ſo erhielt der Faden, da die Nadel unten nur 20° aus der Richtung des Meridians gebracht wurde, eine Drehung von 180° — 20° = 160°, und die dieſer Drehung entſprechende Kraft hält alſo der die Nadel richtenden Kraft der Erde das Gleichgewicht, nämlich der in horizontaler Richtung wirkenden Kraft, welche die Nadel in den magnetiſchen Meridian zurückzuführen ſtrebt. Es bezeichne M die Intenſität der horizontalen Kraft des Erdmagnetismus FA', welche ſich in zwei andere Kräfte zerlegt, nämlich PA', welche keine Drehung der Nadel hervorbringt, und TA', die vollkommen wirkſam iſt. Bezeichnet V den Winkel AVA' (die Ablenkung der Nadel), ſo iſt M sin V der Werth jener Kraft TA'. Bei Winkeln unter 20° und 15° kann man die Winkel allenfalls ohne merklichen Irrthum für die Sinus derſelben nehmen, und innerhalb dieſer Grenzen wird daher die richtende Kraft durch M.V ausgedrückt. In dem angenommenen Beiſpiele iſt V = 20°; alſo 20° M die Kraft, welche durch eine Drehung um 160° aufgewogen wird, und weil der Drehungswiderſtand des Fadens (oder Drahtes) dem Drehungswinkel proportional iſt, ſo iſt folglich für 1° Ablenkung die richtende Kraft $= \frac{160}{20} = 8$. In dieſer Weiſe läßt ſich im Allgemeinen die richtende Kraft auf 1° Ablenkung

zurückführen. Bei Coulomb's Versuchen hatte nun die Magnetnadel eine richtende Kraft von 35° Drehung bei 1° Ablenkung. Ein magnetisirter Stahldraht von gehöriger Länge wurde in verticaler Stellung in die Wage gebracht, so daß sein abstoßender Pol nach unten gerichtet war, und sein unteres Ende ungefähr einen Zoll unter das Niveau der Magnetnadel zu liegen kam, so daß, wenn der aufgehängte Draht nicht abgestoßen worden wäre, der Durchschnitts- oder Kreuzungspunkt dieses Drahtes und der Nadel (die letztere verlängert gedacht) ungefähr einen Zoll vom Ende des Drahtes entfernt gewesen wäre. Aber die Nadel wurde lebhaft aus ihrer Stellung getrieben, und blieb erst 24° vom magnetischen Meridian stehen. Diese Stellung wollen wir ihre erste Stellung nennen. Um ihr eine zweite zu ertheilen, wurde das Mikrometer um drei Umkreise gedreht, d. h. um 1080°, und die Nadel näherte sich bis zu 17° vom Meridian. Endlich, um ihr eine dritte Stellung zu geben, wurde das Mikrometer noch um 5 Umkreise gedreht, also im Ganzen um 8 Umkreise = 2880°, und nun stellte sich die Nadel bei 12° vom Meridian ein. In der ersten Stellung wurde die Nadel nach der Ebene des magnetischen Meridians durch die richtende Kraft des Erdmagnetismus und durch die 24° betragende Drehung des Drahtes (Fadens) zurückgedrängt. Da nun aber die Kraft des Erdmagnetismus, wie oben bemerkt wurde, 35° Drehung für 1° Ablenkung gleich kam, so betrug sie für 24° Ablenkung 35 . 24 = 840°. Hierzu kamen noch 24° Drehkraft des Drahtes; folglich war die Gesammtkraft, welcher die die Ablenkung der Nadel bewirkende Kraft gleich kam, 864°. In der zweiten Stellung der Nadel findet sich eben so die Gesammtkraft = 35 . 17 + 1080 + 17 = 1692°; und in der dritten Stellung = 35 . 12 + 2880 + 12 = 3312. Die Entfernungen in den angegebenen drei Stellungen sind also 24, 17 und 12, die entsprechenden abstoßenden Kräfte 864, 1692, 3312. Die Quadrate der Entfernungen sind 576, 289 und 144, und es verhält sich annäherungsweise 576 : 289 : 144 = 3312 : 1692 : 864.

Das Gesetz der Abnahme nach dem Quadrate der Entfernung läßt sich in ähnlicher Weise auch für die magnetische Anziehung darthun. — Durch die beiden vorher beschriebenen Methoden kann dieses Gesetz nur innerhalb gewisser Grenzen bestätigt werden. Coulomb gebrauchte lange magnetisirte Stahldrähte, um den Einfluß der Pole zu vermeiden, deren Wirkung nicht in Betracht gezogen werden sollte. Bei größeren Abständen tritt das Gesetz nicht mehr hervor, weil mit wachsender Entfernung auch der andere Pol des Drahtes auf den zugewandten Pol der Magnetnadel einen merklichen Einfluß ausübt. Die Totalwirkung eines Magnets auf den Pol eines anderen oder auf die Ablenkung des letzteren Magnets verhält sich, wie Gauß*) gezeigt hat, umgekehrt wie die dritte Potenz der Entfernung. Dieses Gesetz ist aber nur eine nothwendige Folge des bereits erörterten, daß sich nämlich die Wirkungen der magnetischen Elemente umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen verhalten. Das Gesetz von der Abnahme der Gesammtwirkung mit dem Cubus der Entfernung tritt in den Versuchen mit Evidenz hervor, sobald die Entfernung der Magnete die Dimensionen der letzteren

*) Intensitas vis magneticae terrestris ad mensuram absolutam revocata. Goettingae 1832. Poggend. Ann. Bd. XXVIII. S. 241. 591. Dove's Repert. 2. S. 159.

um ein Bedeutendes übertrifft. Gauß nahm zunächſt ganz allgemein an, daß die Wirkung der magnetiſchen Elemente bei einer beliebigen Lage der beiden Magnete zu einander im umgekehrten Verhältniß der nten Potenz der Entfernung ſtehe. Bezeichnet v den Winkel, um welchen eine beweglich aufgehängte Magnetnadel von einer anderen feſten Nadel aus der Gleichgewichtslage abgelenkt wird, ſo läßt ſich die Tangente deſſelben in einer Reihe nach fallenden Potenzen der Entfernung R beider Magnete entwickeln. Es iſt nämlich

$$\text{tang} \cdot v = L R^{-(n+1)} + L' R^{-(n+3)} + L R^{-(n+5)} + \ldots$$

wo L einen Coefficienten bedeutet, der vom Magnetismus der Nadel, vom horizontal wirkenden Theile des Erdmagnetismus und von dem Widerſtande abhängig iſt, den die Torſion (Drehung) des Fadens, an welchem die bewegliche Magnetnadel aufgehängt iſt, der Ablenkung entgegenſetzt. Gauß führte zwei Verſuchsreihen aus, wobei er ſich des Magnetometers (ſ. d. Art.) bediente. Ein Magnetſtab NS wurde in verſchiedenen Entfernungen von der beweglichen Magnetnadel aufgeſtellt, und zwar bei der einen Verſuchsreihe ſo, wie beiſtehende Fig. I. zeigt, bei der zweiten Verſuchsreihe dagegen dergeſtalt, wie es die Fig. II. angiebt. Im erſten Falle ſteht alſo die Richtung der Nadel n s ſenkrecht auf der Richtung des Stabes NS und geht durch deſſen Mitte. Im zweiten Falle liegt die Mitte der

I.

II.

beweglichen Nadel in der Verlängerung des Stabes NS. Gauß zeigte, daß in dieſem Falle die ablenkende Kraft des Stabes nmal ſo groß als im erſten Falle iſt. Die zu dieſen Verſuchen angewendeten Magnetnadeln hatten eine Länge von $0^m,3$. Die bewegliche Nadel befand ſich im Magnetometer (ſ. d. Art.), und es wurde ſüdlich von derſelben eine andere Nadel ſo angebracht, daß beide zu einander eine ſolche Lage hatten, wie in Fig. I. NS und n s. Die Ablenkung, welche die feſte Nadel an der beweglichen Magnetometernadel hervorbrachte, war nur klein, ſo daß man die Größe des Ablenkungswinkels als Maß der ablenkenden Kraft des Magnets NS betrachten konnte. Der einer beſtimmten Entfernung entſprechende Werth des Ablenkungswinkels v wurde als Mittel aus vier Beobachtungen beſtimmt. Wenn die Nadel NS zu der Nadel n s im Magnetometer die Lage hatte, wie Fig. I., ſo geſchah die Ablenkung des Pols s gegen die Linke. Hierauf wurde die Nadel NS umgekehrt, ſo daß S an die Stelle von N und der letztere Pol an die Stelle des erſteren kam. Der Pol s wurde dann eben ſo ſtark nach der Rechten hin abgelenkt. Alsdann wurde der Stab in derſelben Entfernung und auf dieſelbe Weiſe wie vorher auf der nördlichen Seite der Magnetometernadel ange-

bracht, um wieder eine öſtliche und weſtliche Ablenkung der Magnetometernadel zu beobachten. Aus dieſen vier Beobachtungen wurde zur Beſtimmung des Werthes von v das arithmetiſche Mittel genommen, und dann dieſelbe Beobachtungsweiſe für verſchiedene Entfernungen wiederholt. Bei der zweiten Verſuchsreihe wurde der Ablenkungsnadel eine ſolche Lage gegen die Magnetometernadel gegeben, wie in vorſtehender Fig. II. Nachdem die Ablenkung v′ der letzteren beobachtet war, wurde die Nadel NS umgekehrt, nämlich N an die Stelle von S und S an die Stelle von N gebracht. Die nun erfolgende Ablenkung wurde notirt und dann die Nadel NS eben ſo weit auf die andere Seite (oſtwärts) von der Magnetometernadel gebracht, um auch hier zwei Ablenkungen in der vorigen Weiſe zu beobachten. Das Mittel aus dieſen vier Ablenkungen gab den genauen Werth des Ablenkungswinkels v′. Die folgende Tabelle enthält die Reſultate dieſer Verſuche. R bezeichnet die jedesmalige Entfernung der Aufhängeaxe der Magnetometernadel vom Mittelpunkte der Nadel NS. Die Entfernungen R ſind in Theilen des Meters gegeben.

R	v	v′	R	v	v′
m			m		
1,1	1° 57′ 24″,8		1,9	0° 22′ 9″,2	0° 43′ 21″,8
1,2	1 29 40,5		2,0	0 19 1,6	0 37 16,2
1,3	1 10 19,3	2° 13′ 51″,2	2,1	0 16 24,7	0 32 4,6
1,4	0 55 58,9	1 47 28,6	2,5	0 9 36,1	0 18 51,9
1,5	0 45 14,3	1 27 19,1	3,0	0 5 33,7	0 11 0,7
1,6	0 37 12,2	1 12 7,6	3,5	0 3 28,9	0 6 56,9
1,7	0 30 57,9	1 0 9,9	4,0	0 2 22,2	0 4 35,9
1,8	0 25 59,5	0 50 52,5			

Wenn man nun für größere Entfernungen die Zahlen der zweiten Columne und eben ſo die der dritten mit einander vergleicht, ſo erkennt man leicht, daß ſich dieſelben ſehr nahe umgekehrt wie die dritten Potenzen der entſprechenden Entfernungen R verhalten. Es iſt demnach in der obigen Formel (S. 766) $n = 2$ zu ſetzen. Eben ſo leicht überzeugt man ſich aus dieſer Tafel, daß die Zahlen der dritten Columne nahe doppelt ſo groß ſind als die Zahlen der zweiten Columne. Um dieſes Geſetz in den einzelnen Verſuchen noch mehr zu beſtätigen, berechnete Gauß nach der Methode der kleinſten Quadrate (ſ. Art. Beobachtung) folgende Werthe für die Coefficienten L:

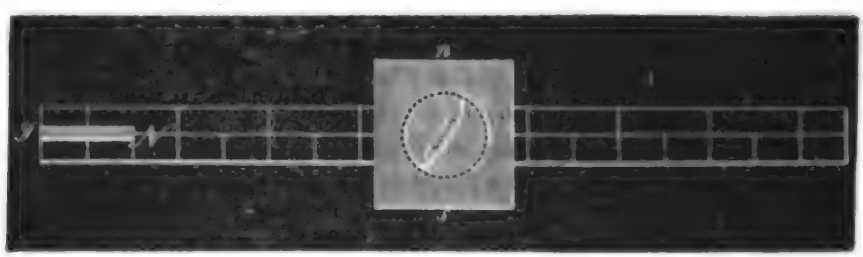
$$\text{tang } v = 0{,}086870\ R^{-3} - 0{,}002185\ R^{-5}$$
$$\text{tang } v' = 0{,}043435\ R^{-3} + 0{,}002449\ R^{-5}$$

Die Vergleichung der nach dieſen Formeln berechneten Werthe mit den obigen (beobachteten) führte zu nachſtehender Tabelle.

R	v	Unterſchied	v'	Unterſchied
m				
1,1	1° 57′ 22″,0	+ 2″,8		
1,2	1 29 46,5	— 6,0		
1,3	1 10 13,3	+ 6,0	2° 13′ 50″,4	+ 0″,8
1,4	0 55 58,7	+ 0,2	1 47 24,1	+ 4,5
1,5	0 45 20,9	— 6,6	1 27 28,7	— 9,6
1,6	0 37 15,4	— 3,2	1 12 10,9	— 3,3
1,7	0 30 59,1	— 1,2	1 0 14,9	— 5,0
1,8	0 26 2,9	— 3,4	0 50 48,3	+ 4,2
1,9	0 22 6,6	+ 2,6	0 43 14,0	+ 7,8
2,0	0 18 55,7	+ 5,9	0 37 5,6	+ 10,6
2,1	0 16 19,8	+ 4,9	0 32 3,7	+ 0,9
2,5	0 9 38,6	— 2,5	0 19 2,1	— 10,2
3,0	0 5 33,9	— 0,2	0 11 1,8	— 1,1
3,5	0 3 29,8	— 0,9	0 6 57,1	— 0,2
4,0	0 2 20,5	+ 1,7	0 4 39,6	— 3,7

Die Verſuche zeigten, daß, wenn man nicht zu Abſtänden kleiner als die vierfache Länge der Nadel hinabgeht, zwei Glieder der für lang v angenommenen Reihe vollkommen hinreichend ſind. Die Nothwendigkeit der Annahme von n = 2 läßt aber keinen Zweifel darüber, daß die Action (Anziehung und Abſtoßung) der magnetiſchen Elemente im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernung ſtehe.

Die obigen Verſuche laſſen ſich nach W. Weber*) auch ohne das Gaußiſche Magnetometer vermittelſt einer gewöhnlichen Bouſſole, die in ganze Grade eingetheilt iſt, anſtellen. Als Ablenkungsſtab dient ein 1 Decimeter langes, prismatiſches Magnetſtäbchen, welches nebſt der Bouſſole auf einen 1 — 1,6 Meter langen, in Decimeter getheilten Maßſtab gelegt wird. Die Bouſſole wird auf

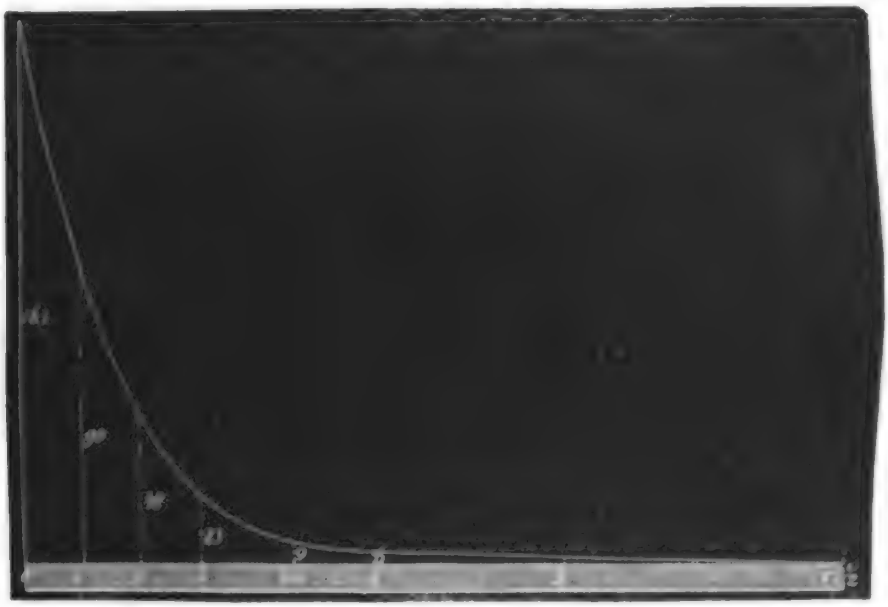


die Mitte des letzteren geſtellt, dem man eine horizontale und vorerſt zum magnetiſchen Meridian ſenkrechte Lage giebt. Das Magnetſtäbchen wird dabei parallel mit dem Maßſtabe auf den letzteren gelegt und die Ablenkung der Nadel in der Bouſſole, ſo wie die Entfernung der Mitte des Stäbchens von ihr genau notirt.

*) Reſultate aus den Beobacht. des magn. Vereins. Jahr 1836. S. 63.

Auch hier beſtimmt man den Ablenkungswinkel als Mittel aus vier Verſuchen auf die bereits oben angegebene Weiſe. Alsdann legt man den Maßſtab in die Richtung des magnetiſchen Meridians und das Ablenkungsſtäbchen rechtwinklig auf denſelben. Die Verſuche werden wie vorher angeſtellt und für verſchiedene Entfernungen wiederholt. Es kommen dann im Ganzen die obigen Reſultate zum Vorſchein.

Coulomb hat das Geſetz, nach welchem die Intenſität des freien Magnetismus von den Enden eines Magnetſtabes gegen die Mitte hin abnimmt, vermittelſt der Oscillationen einer 1,5 Centimeter langen Magnetnadel beſtimmt. Dieſelbe war an einem Coconfaden aufgehängt und wurde dem vertical gehaltenen Magnetſtabe genähert (ſ. Fig. S. 763), nachdem zuvor ihre Schwingungsdauer oder die Anzahl der Oscillationen in der Zeiteinheit unter dem alleinigen Einfluſſe des Erdmagnetismus beſtimmt war. Als Coulomb darauf den Nordpol der Nadel dem Südpol des Stabes näherte, wurden die Schwingungen der erſteren beſchleunigt. Dieſe Beſchleunigung fiel aber (bei ſonſt gleicher Entfernung vom Stabe) um ſo geringer aus, je näher die Nadel dem Mittelpunkte des Stabes kam, ſo daß in dem Falle, wo der Nordpol der Nadel der Mitte gerade gegenüber ſtand, die Anzahl der Schwingungen nicht mehr betrug, als wenn die Nadel frei, d. h. nur unter dem Einfluſſe des Erdmagnetismus oscillirte. Bei Stäben von mehr als 7 bis 8 Zoll Länge läßt ſich das Geſetz der Abnahme des freien Magnetismus von den Enden gegen die Mitte durch eine Curve (magnetiſche Intenſitätscurve) darſtellen, deren Abſciſſen die Entfernungen von den Enden des Stabes und deren Ordinaten die magnetiſche Intenſität in den betreffenden Punkten ſind.



Die vorſtehende Intenſitätscurve bezieht ſich auf einen gleichmäßig magnetiſirten Stahldraht von 27 Zoll Länge. Dieſe Curve gilt für beide Hälften des Drahtes. Sie läßt ſich nach Biot*) durch die Gleichung $y = A(\mu^x - \mu^{2l-x})$ ausdrücken,

*) Traité de physique. Tom. III. p. 70.

wenn y die Intenſität des freien Magnetismus in dem Abſtande x von dem Ende des Magnets, und 2 l die Länge des letzteren bezeichnet. A und μ ſind zwei durch Beobachtung zu beſtimmende conſtante Größen. Verſuche, welche Becquerel *) mit ſehr dünnen Stahldrähten anſtellte, führten zu einer Beſtätigung dieſes Geſetzes. A. van Rees **) hat der Biot'ſchen Formel eine etwas andere Geſtalt gegeben, indem er den Urſprung der Abſciſſen nicht an das Ende, ſondern der Symmetrie wegen in die Mitte des Stabes verlegt. Man hat dann nur l — x ſtatt x zu ſetzen, wodurch die obige Gleichung übergeht in

$$y = -A\mu^{l}(\mu^{x} - \mu^{-x}).$$

Coulomb fand, daß für magnetiſirte Streifen oder Drähte von verſchiedener Länge obige Curve dieſelbe bleibt, wenn die Länge der Magnete nur mehr als 8 Zoll beträgt. Hieraus folgte dann weiter, daß bei mehr als 8 Zoll Länge alle Magnete von derſelben Geſtalt ihre Pole in derſelben Entfernung von den Enden haben. Durch Rechnung ergab ſich, daß die Pole in einer Entfernung von 18 Linien von den Enden liegen. Dieſe Reſultate ſetzen voraus, daß die Magnete ſehr kleine Dimenſionen der Breite und Dicke im Verhältniß gegen die der Länge haben, daß ſie in ihrer Ausdehnung von einer regelmäßigen Geſtalt und daß ſie gleichmäßig magnetiſirt ſind. Bei kurzen Magneten dieſer Art fand Coulomb, daß ihre Pole ſich faſt genau auf dem Drittheil der halben Länge oder auf $^1/_6$ der ganzen Länge von den Enden aus befinden. Wenn die angegebenen Bedingungen nicht erfüllt ſind, ſo findet man die Pole am bequemſten mittelſt einer kleinen Probenadel oder durch ein kurzes Stück weichen Eiſendrahtes, das in einer hohlen Glaskugel befindlich iſt. Ueber einem Pole ſtellt ſich ein ſolches Drahtſtück ſenkrecht. Bei den rautenförmigen Nadeln nähern ſich die Pole mehr dem Mittelpunkte; bei den pfeilähnlichen Magnetnadeln iſt es häufig ſchwierig, eine ganz gleichmäßige Magnetiſirung zu erlangen, und bei breiten oder dicken Platten giebt es nicht ſelten auch mehrere Pole oder ſogenannte Folgepunkte, von denen ſchon die Rede geweſen iſt.

Wenn man die Menge des freien Magnetismus in einem Punkte eines gleichmäßig magnetiſirten Stabes mit dem Abſtande dieſes Punktes von der Mitte (neutralen Zone) multiplicirt, ſo nennt man das Product das magnetiſche Moment des betreffenden Punktes. Bedeutet nun μ die Quantität des freien Magnetismus in dem einen Pol und l des letzteren Entfernung von der Mitte, ſo iſt in dem Producte μ l die Quantität μ gewiſſermaßen der gleichwerthige Repräſentant aller magnetiſchen Intenſitäten, welche in den verſchiedenen Punkten der einen Hälfte des Magnetſtabes frei nach außen wirken. In derſelben Weiſe hat man für die andere Hälfte des Stabes $(-\mu)(-l) = \mu l$. Das Product aus der Quantität μ des in jedem Pole enthaltenen freien Magnetismus in den Abſtand 2 l beider Pole, nämlich $2l\mu = M$, iſt das magnetiſche Moment des ganzen Magnetſtabes. Die Entfernung 2 l nennt man aber häufig die Scheidungsweite des freien Magnetismus eines Magnetſtabes.

A. van Rees ***) hat aus der Biot'ſchen Formel für die Intenſität des

*) Ann. de Chim. et de Phys. T. XXII. p. 113.
**) Pogg. Ann. Bd. LXX. S. 12.
***) Pogg. Ann. Bd. LXX. S. 1 ff.

freien Magnetismus einen Ausdruck abgeleitet für das magnetische Moment der Theilchen eines gleichmäßig magnetisirten Stabes. Er betrachtete zunächst eine Reihe in gerader Linie liegender Magnettheilchen, die alle gleich sind und in gleichen Entfernungen von einander liegen. Die magnetischen Axen aller Theilchen haben die nämliche Richtung, nämlich die der geraden Linie, welche durch die Mittelpunkte der Theilchen hindurchgeht. Für die Beziehung zwischen dem freien Magnetismus y und dem magnetischen Moment z eines Theilchens, das in dem Abstande x von der Mitte der Reihe liegt, fand er die Formel $y = -\frac{dz}{dx}$, von der er zeigt, daß sie auch für einen Magnetstab Geltung habe. y bezeichnet in dieser Formel eigentlich die Quantität des freien Magnetismus, der in der Mitte zwischen zwei benachbarten Theilchen in der Entfernung x von der Mitte der Reihe vorhanden ist. Die Quantität des freien Magnetismus ist also der Differentialquotient des magnetischen Moments als Function der Coordinate x betrachtet. Durch Integration dieser Formel ergiebt sich $z = -\int y\,dx$. Substituirt man in diesem Ausdrucke für y dessen Werth nach der Biot'schen Formel, so erhält man, indem man die Constante $\frac{A\mu^l}{\log \mu}$ durch — b ersetzt, und die Constante der Integration durch a bezeichnet, $z = a - b(\mu^x + \mu^{-x})$. Diese Gleichung gehört der bekannten Kettenlinie an, wenn x und z als die Coordinaten einer Curve betrachtet werden. Die drei Constanten a, b und μ müssen für jeden Magneten besonders bestimmt werden. — Messungen, welche A. van Rees *) an Stahlmagneten und durch Vertheilung magnetisirten Eisenstäben anstellte, führten zu dem Resultate, daß, obwohl die Kettenlinie bei Magneten, die höchstens funfzig Mal länger als dick sind, bezüglich der Vertheilung des Magnetismus an solchen Stäben eine in den meisten Fällen genügende Annäherung liefere, die wahre Intensitätscurve, oder, was dasselbe sei, das Gesetz der Vertheilung des Magnetismus im Stahl- und Elektromagneten noch zu finden sei. Die Kettenlinie gewährt aber bei Elektromagneten eine eben so große Annäherung als bei Stahlmagneten, so daß höchst wahrscheinlicher Weise die Vertheilung des Magnetismus in beiden Arten von Magneten das nämliche Gesetz befolgt.

Bezüglich der Vertheilung des Magnetismus in zwei gleichen, mit den ungleichnamigen Polen sich berührenden Magneten bemerkt van Rees **), daß die in der Mitte eines jeden Stabes gelegene neutrale Linie ihre Stelle verändere und sich dem Pole nähere, der mit dem zweiten Magnete in Berührung ist, wovon man sich überzeugen könne, wenn man eine kleine Declinations- oder Inclinationsnadel längs dem Magnete hinführe. Es ist dies eine Folge der Verstärkung, welche der Magnetismus eines jeden Magnets durch den Einfluß des anderen erfährt, und zwar am kräftigsten an der Berührungsstelle, immer schwächer nach dem entfernten Ende hin.

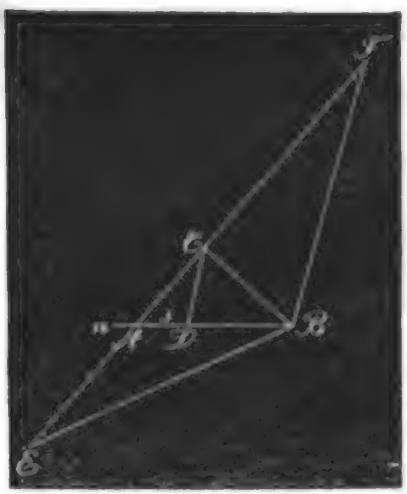
Wenn ein Eisenstab im Sinne der Längenrichtung eines Magnetstabes dem vertheilenden Einflusse des letzteren, etwa von Seiten seines Nordpols, ausgesetzt

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIV. S. 213.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXIV. S. 222.

iſt, ſo beobachtet man auf dem Eiſenſtabe eine neutrale Linie, die bei geringer Entfernung dem Ende, welches dem vertheilenden Einfluſſe zunächſt ausgeſetzt iſt, nahe liegt, bei größerer Entfernung ſich mehr der Mitte nähert, und bei einer unendlichen Entfernung oder einer ſolchen, gegen welche die Länge der Stäbe verſchwindend klein iſt, gerade in die Mitte fallen würde. Der letztere Fall findet z. B. ſtatt, wenn der Eiſenſtab in der Richtung der Inclinationsnadel dem Einfluſſe des Erdmagnetismus ausgeſetzt iſt.

Wenn man aber einen mit einem Magneten in Berührung gebrachten Eiſenſtab mittelſt einer kleinen Magnetnadel unterſucht, ſo zeigt dieſer Stab, wie A. van Rees *) fand, in ſeiner ganzen Länge denſelben freien Magnetismus als der anliegende Magnetpol. — Wir werden hierauf weiter unten wieder zurückkommen.

Die Wirkung eines Magnetſtabes auf eine entfernte Magnetnadel iſt abhängig von ſeinem magnetiſchen Moment, ſie iſt demſelben direct proportional, während ſie zugleich, wie wir bereits wiſſen, im umgekehrten Verhältniſſe mit der dritten Potenz der Entfernungen. Gauß hat dieſen Satz noch durch eine einfache geometriſche Conſtruction allgemein bewieſen **). In A befinde ſich der Magnet, und AB ſei die Richtung der magnetiſchen Axe. Die Linie AC = R verbinde einen entfernten Punkt C, wo die Wirkung des Magnets betrachtet werden ſoll, mit der Mitte des Magnets. Man errichte in C ein Perpendikel auf AC, welches in B die Richtung der magnetiſchen Axe ſchneidet. In AB werde der Punkt D ſo angenommen, daß $AD + \frac{1}{3} AB$ ſei, und ziehe CD; ſo iſt CD oder DC die Richtung der magnetiſchen Kraft in C, je nachdem das magnetiſche Element in C von entgegengeſetzter oder von gleicher Art, wie der freie Magnetismus im Magnet A auf der Seite des ſpitzen Winkels BAC iſt. Die Größe der Kraft iſt $= \frac{CD}{AD} \cdot \frac{M}{R^3}$.



Um dieſen Satz zu beweiſen, ſtelle man ſich im Punkte n den Nordmagnetismus, in s den Südmagnetismus des Magnets A vor. Die Linie ns ſei gegen AC unendlich klein und werde vom Punkte A halbirt. Im Punkte C denke man ſich die Einheit des Nordmagnetismus; $\pm m$ bezeichne die Menge des Nord- oder Südmagnetismus in den Punkten n und s; $a = ns$ ſei ihre Scheidungsweite. Das magnetiſche Moment M iſt dann $M = am$.

Wenn man nun die Kraft, welche auf C wirkt, nach CA und CB, welche einen rechten Winkel einſchließen, zerlegt, ſo erhält man für die Einheit des Nordmagnetismus in C erſtens die Componenten X nach CA:

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIV. S. 225 ff.

**) Reſult. des magn. Ver. 1840. S. 26 ff. und W. Weber: Pogg. Ann. Bd. LV. S. 33.

$$X = -\frac{m}{Cn^2} \cdot \cos ACn + \frac{m}{Cs^2} \cos ACs.$$

Da $nA = As$ gegen AC verschwindet, so ist $\cos ACn = \cos ACs = 1$, und da $ns = \alpha$ und ACB ein rechter Winkel ist, so hat man:

$$Cn = AC + \frac{AC}{AB} \cdot \frac{\alpha}{2}$$

$$Cs = AC - \frac{AC}{AB} \cdot \frac{\alpha}{2}.$$

Substituirt man diese Werthe und vernachlässigt die höheren Potenzen von $\frac{\alpha}{AB}$ so ergiebt sich: $X = \frac{2\alpha m}{AB \cdot AC^2}$.

Die Componenten Y nach AB findet man:

$$Y = \frac{m}{Cn^2} \sin ACn + \frac{m}{Cs^2} \sin ACs,$$

worin $\sin ACn = \sin ACs = \frac{1}{2}\frac{CB}{AB} \cdot \frac{\alpha}{AC}$ und $\frac{1}{2}\left(\frac{1}{Cn^2} + \frac{1}{Cs^2}\right) = \frac{1}{AC^2}$ gesetzt werden kann; folglich: $Y = \frac{CB}{AB} \cdot \frac{\alpha m}{AC^3}$.

Die Kraft, welche auf C wirkt, ergiebt sich hieraus:

$$\sqrt{(X^2 + Y^2)} = \frac{\alpha m}{AB \cdot AC^3} \sqrt{(4AC^2 + BC^2)}.$$

Verlängert man CA bis E, so daß $CA = AE$, so erhält man:

$$BE = \sqrt{(4AC^2 + BC^2)}.$$

Zieht man BF parallel mit DC, bis sie in F die verlängerte AC schneidet, so ist $AC : CF = AD : DB = 1 : 2$, folglich $CF = 2AC = CE$, woraus die Congruenz der rechtwinkligen Dreiecke BCE und BCF geschlossen wird, oder $BE = BF = 3CD$. Fügt man $AB = 3AD$ und $\alpha m = M$ hinzu und substituirt diese Werthe, so erhält man die Kraft, welche auf C wirkt $\sqrt{(X^2 + Y^2)} = \frac{CD}{AD} \cdot \frac{M}{AC^3}$.

Dies ist nun der Ausdruck, der zu beweisen war. Die Richtung der so bestimmten Kraft macht mit der Richtung CA der Componente X einen Winkel, dessen Tangente $\frac{Y}{X} = \frac{BC}{2AC} = \frac{BC}{CF}$ ist.

Da BCF ein rechter Winkel ist, so hat man $\frac{BC}{CF} = \text{tang } BFC = \text{tang } DCA = \frac{Y}{X}$, woraus folgt, daß CD die Richtung der Kraft ist.

Einer Magnetnadel, welche um eine Axe (z. B. verticale) drehbar ist, kommt ein bestimmtes Drehungsmoment zu, wenn sie dem Einflusse eines Magnetstabes oder auch des Erdmagnetismus unterworfen ist. Dieses Drehungsmoment

iſt abhängig von der Intenſität (oder von der bewegenden Kraft) des einwirkenden Magnetismus und von dem magnetiſchen Moment der Nadel. Iſt z. B. mit Rückſicht auf den Erdmagnetismus n s (ſ. beiſtehende Fig.) die Axe der Nadel, welche um den Winkel v vom magnetiſchen Meridian a b abgelenkt iſt, ſo läßt ſich die Kraft, womit der Magnetismus der Erde in den magnetiſchen Meridian zurückzuführen ſtrebt, beſtimmen, indem man die erdmagnetiſche Kraft, welche man der Größe und Richtung nach durch die mit a b parallele Linie n r vorſtellen kann, in die auf einander ſenkrechten Componenten n p und n q zerlegt. Die erſtere Componente, welche in der Richtung der Nadel wirkt, bringt keine Veränderung in der Lage der Nadel hervor, während die andere, rechtwinklig auf die Axe der Nadel wirkend, dieſe letztere zu einer Drehung nach dem magnetiſchen Meridian hin beſtimmt. Es iſt nun, wenn man die erdmagnetiſche Kraft n r durch T bezeichnet, n q = T sin v. Das Drehungsmoment der Nadel iſt aber = m T sin v, falls m das magnetiſche Moment der Nadel iſt.

Es ſei C (Fig. auf S. 772) eine Magnetnadel, deren Axe den Winkel v mit dem magnetiſchen Meridian macht, und A C = R ſtehe ſenkrecht gegen den magnetiſchen Meridian. Liegt nun die Axe des Magnets A in der Richtung A C, ſo bewirkt A, deſſen magnetiſches Moment = M ſei, in C das Drehungsmoment $\frac{2\,M\,m}{R^3}\cos v$, während der Erdmagnetismus T das Drehungsmoment T m sin v auf C ausübt. Zum Gleichgewicht der Nadel wird dann erfordert, daß $\frac{2\,M\,m}{R^3}\cos v = T\,m \sin v$ oder daß $\text{tang } v = \frac{2\,M}{T} \cdot \frac{1}{R^3}$.

Dieſer Ausdruck auf der rechten Seite des Gleichheitszeichens iſt das erſte Glied des nach fallenden Potenzen von R dargeſtellten Werthes von tang v (S. 765 ff.), und von dieſer Reihe muß man Gebrauch machen, wenn die Vorausſetzung, die hier gemacht iſt, nicht gilt, daß nämlich die Dimenſionen der Magnete gegen den Abſtand R verſchwinden. Der Factor L in der citirten Reihe iſt alſo bei der eben betrachteten Lage beider Magnete zu einander $= \frac{2\,M}{T}$.

Iſt ferner C (Fig. auf S. 772) eine Magnetnadel, deren Axe den Winkel v mit dem magnetiſchen Meridian macht, ſo bewirkt A in C das Drehungsmoment $\frac{M\,m}{R^3}\cos v$, in ſofern A C = R im magnetiſchen Meridian liegt, und die Axe des Magnets A ſenkrecht auf dem magnetiſchen Meridian iſt. Das vom Erdmagnetismus herrührende Drehungsmoment der Nadel bleibt m T sin v. Im Falle des Gleichgewichts hat man nun $\frac{M\,m}{R^3}\cos v = T\,m \sin v$ oder $\text{tang } v = \frac{M}{T} \cdot \frac{1}{R^3}$.

Auch bei dieſer Lage der Magnete zu einander muß man, wenn die obige Vorausſetzung nicht ſtatt hat, auf die erwähnte Reihe reflectiren, in der jetzt $L = \frac{M}{T}$ iſt.

Das Moment eines Magnets kann gemeſſen werden, wenn man die Ablenkung einer Nadel bei zwei verſchiedenen Entfernungen vom Magnete beobachtet. Die Einrichtung läßt ſich dabei ſo treffen, daß der Magnet immer in der Horizontalebene der Nadel und ſenkrecht gegen den magnetiſchen Meridian bleibt. Die Ablenkung der Nadel kann man in jeder Entfernung 4 Mal beobachten, indem der Magnet bald öſtlich, bald weſtlich von der Nadel aufgeſtellt wird, und ſeinen Nordpol bald nach Oſt, bald Weſt kehrt. Bezeichnet man die daraus für die Entfernungen R und R′ gefundenen Mittelwerthe der Ablenkungen durch v und v′, ſo läßt ſich ſetzen $\text{tang } v = \frac{L}{R^3} + \frac{L'}{R^5}$ und $\text{tang } v' = \frac{L}{R'^3} + \frac{L'}{R'^5}$. Dieſe beiden Glieder der Reihe ſind hier ausreichend, wenn R und R′ gegen die Länge des Magnets und der Nadel ſehr groß ſind, ſo daß die Glieder der Reihe, welche die 7. oder höhere Potenzen enthalten, vernachläſſigt werden dürfen. Durch Elimination von L′ erhält man hieraus $L = \frac{R^5 \text{ tang } v - R'^5 \text{ tang } v'}{R^3 - R'^3}$, wo v, v′, R und R′ durch Meſſung bekannt ſind. Das geſuchte magnetiſche Moment M ergiebt ſich dann aus der Gleichung $L = \frac{2M}{T}$, alſo $M = \frac{1}{2} L T$.

Unter der Einheit des freien Magnetismus verſteht man diejenige Quantität deſſelben, welche auf eine gleiche Menge gleichartigen oder ungleichartigen Magnetismus in der Entfernung 1 eine Abſtoßung oder Anziehung ausübt, die der beſchleunigenden Kraft 1 auf die Maſſe 1 acquivalent iſt. Dieſe beſchleunigende Kraft 1 iſt eine ſolche, welche der Maſſe 1 (z. B. einem Milligramme) in der Zeiteinheit die Geſchwindigkeit 1 (z. B. von 1 Millimeter) mittheilt. Das Drehungsmoment eines Magnetſtabes oder einer Magnetnadel, in Einheiten dieſes Grundmaßes ausgedrückt, iſt dann nichts anderes als die bewegende Kraft oder der Druck, welcher an einem Hebelsarme von 1 Millimeter Länge thätig den Stab oder die Nadel eben ſo um ihren Stützpunkt drehen würde, wie dies durch den betreffenden magnetiſchen Einfluß, z. B. durch den Erdmagnetismus wirklich geſchieht.

Wir wiſſen ſchon, daß eine Magnetnadel, welche um eine verticale Axe in horizontaler Ebene beweglich iſt, unter dem Einfluſſe des Erdmagnetismus ähnliche Schwingungen wie ein Pendel macht, wenn ſie aus ihrer Ruhelage entfernt worden iſt. Die Schwingungsdauer eines einfachen Pendels wird nun durch $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ ausgedrückt, wo l die Länge des Pendels und g die Beſchleunigung der Schwere iſt. Bezeichnet aber K das Trägheitsmoment und M das ſtatiſche Moment eines zuſammengeſetzten Pendels, ſo hat man $l = \frac{K}{M}$ (ſ. Art. Pendel), und daher $t = \pi \sqrt{\frac{K}{gM}}$. Dieſe Formel gilt nun auch für die kleine Schwin-

gungsdauer einer Declinationsnadel, nur daß an die Stelle von g die horizontale Intenſität des Erdmagnetismus zu ſetzen iſt. Alſo iſt $t = \pi \sqrt{\frac{K}{TM}}$, woraus $MT = \frac{\pi^2 K}{t^2}$ folgt.

Das Trägheitsmoment K eines parallelepipediſchen Magnetſtabes, der um eine verticale, durch den Mittelpunkt gehende Axe ſchwingt, iſt, wenn ſein Gewicht p Milligramme beträgt, und ſeine Länge und Breite resp. l und b ſind, $= \frac{l^2 + b^2}{12} . p$. Dieſer Werth wäre alſo für K in der Formel für t zu ſubſtituiren. In anderen Fällen läßt ſich das Trägheitsmoment durch den Verſuch beſtimmen, indem man zunächſt die Schwingungsdauer des freiſchwingenden Magnetſtabes ermittelt. Alsdann beſchwert man denſelben in einem gewiſſen Abſtande von der Drehungsaxe auf beiden Seiten der letzteren mit unmagnetiſchen Maſſen, z. B. mit prismatiſchen Stücken von Meſſing, deren Trägheitsmoment in Rückſicht auf die Drehungsaxe entweder ſchon bekannt iſt oder leicht durch Rechnung beſtimmt werden kann. Das Trägheitsmoment beider Maſſen ſei $= k$. Der Magnetſtab wird jetzt langſamer als vorher ſchwingen, und wenn man abermals die Schwingungsdauer deſſelben ermittelt hat, ſo erhält man die beiden Gleichungen $MT = \frac{\pi^2 K}{t^2}$ und $MT = \frac{\pi^2 (K + k)}{t'^2}$, aus welchen das Trägheitsmoment $K = \frac{k t^2}{t'^2 - t^2}$ folgt.

P. W. Häcker *) giebt für die Schwingungsdauer geradliniger Magnetſtäbe die Formel $t = c \sqrt[3]{p} . \sqrt[6]{l}$, wo p das Gewicht oder die Maſſe, l die Länge des Stabes und c eine Conſtante bedeutet, welche die Schwingungsdauer eines Stabes von der Gewichts- und Längeneinheit vorſtellen ſoll. Dieſe Formel folgt aus nachſtehenden Proportionen, welche Häcker aus ſeinen Verſuchen über die Schwingungsdauer verſchiedener Magnetſtäbe ableitete. Sind nämlich p, P die Gewichte oder Maſſen zweier Stäbe, t, T die Schwingungsdauer des einen und des anderen, ſo iſt für Stäbe von gleicher Länge, aber ungleichem Querſchnitte innerhalb gewiſſer Grenzen $\sqrt[3]{p} : \sqrt[3]{P} = t : T$. Und dann bei Stäben von ungleicher Länge l, L, aber von gleichem Querſchnitte innerhalb der Grenzen der Beobachtung $\sqrt{l} : \sqrt{L} = t : T$.

Aus dieſen beiden Proportionen entſteht die folgende:

$$\sqrt{l} \sqrt[3]{\frac{p}{l}} : \sqrt{L} \sqrt[3]{\frac{P}{L}} = t : T \text{ und hieraus } T = \sqrt[3]{\frac{P}{p}} . \sqrt[6]{\frac{L}{l}} . t.$$

Dieſe letztere Formel giebt nun durch Einführung der Conſtante c den obigen Werth für t, in welchem ſtatt der Maſſe auch das Volumen des Stabes geſetzt

*) Pogg. Ann. Bd. LVII. S. 336, Bd. LXXII. S. 63, Bd. LXXIV. S. 394.

werden kann. Bezeichnet unter dieser Voraussetzung c die Schwingungsdauer eines Cubus von der Volumeneinheit, und ist ω der Querschnitt und l die Länge des Stabes, so hat man $t = c\sqrt{l} \cdot \sqrt[3]{\omega}$. Es zeigt sich, daß ein Stab seinen Querschnitt und seine Länge innerhalb gewisser Grenzen verändern kann, ohne daß dadurch seine Schwingungsdauer eine Abänderung erleidet. Um zur Kenntniß dieser Grenzen zu gelangen, stellte Häcker *) noch eine Reihe von Versuchen an. Andere Versuche bezogen sich auf das Verhältniß der horizontalen zur verticalen Schwingungsdauer **). Ein Magnetstab nämlich, der im Verhältniß zu seiner Länge eine merkliche Breite besitzt, kann auf zweierlei Art magnetisirt werden, einmal in gewöhnlicher Weise, wo die Indifferenzlinie die Länge halbirt, und dann transversal, wo die Indifferenzlinie die Breite halbirt. Im ersten Falle schwingt der Magnet in horizontaler Lage, im zweiten muß derselbe, falls er im magnetischen Meridian schwingen soll, in verticaler Richtung schweben. Häcker versteht unter verticaler Schwingungsdauer immer die Schwingungsdauer derjenigen Magnete, welche transversal magnetisirt sind. Es sei nun das Volumen einer Platte, deren Länge größer als ihre Breite ist, V, ihre Länge bei der horizontalen Schwingungsdauer = L, ihre Breite, welche bei der verticalen Schwingungsdauer zur Länge wird, $= l \cdot \frac{V}{L}$ sei gleich dem kleineren Querschnitt $= \omega$, $\frac{V}{l}$ gleich dem größeren Querschnitt $= \Omega$. Die horizontale Schwingungsdauer = T, die verticale = t. Die Gleichung für die horizontale Schwingungsdauer ist dann nach dem Obigen $T = c\sqrt{L} \cdot \sqrt[3]{\omega}$, während Häcker für die verticale Schwingungsdauer die Formel $t = c\sqrt[6]{L} \cdot \sqrt[3]{l} \cdot \sqrt[3]{\omega}$ oder $t = c\sqrt[6]{l} \cdot \sqrt[6]{\Omega} \cdot \sqrt[6]{\omega}$ aufstellt. Die Division von T durch t giebt

$$\frac{T}{t} = \sqrt[3]{\frac{L}{l}} \text{ oder } \frac{T}{t} = \sqrt[3]{\frac{\Omega}{\omega}}.$$

Ist die schwingende Platte ein Quadrat, so fällt die horizontale mit der verticalen Schwingungsdauer zusammen, und diesen Umstand benutzte Häcker, um den Grund, auf dem diese Gleichungen beruhen, und die Aenderung in der Schwingungsdauer genauer einzusehen. Wir müssen in dieser Beziehung auf die Abhandlung selbst verweisen, und führen hier nur noch eine Bemerkung aus derselben an. Wenn man einen Magnetstab von gehärtetem oder ungehärtetem Stahl zu genauen Messungen benutzen will, so muß man sich vorher von seiner unveränderlichen oder bleibenden Kraft überzeugen. Ist der Stab magnetisirt, so lege man an die beiden Polenden Eisenstäbe an, und reiße diese einige Mal ab, wie man es bei Hufeisenmagneten zu thun pflegt. Hiernach läßt man ihn zwei bis drei Stunden ruhig liegen, und untersucht alsdann seine Schwingungsdauer. Hat sich nun dieselbe nach Verlauf von 24 Stunden nicht verändert, so kann man

*) Pogg. Ann. Bd. LXXII. S. 63 ff.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXIV. S. 394 ff.

verſichert ſein, daß er ſpäter an ſeiner Kraft nichts mehr verliert. Doch iſt bei dieſer Unterſuchung darauf zu ſehen, daß kein anderer Magnet in ſeine Nähe gebracht werde.

Nachträglich ſei hier noch einer neuen Methode gedacht, welche mit Vortheil zur Beſtimmung der Intenſität des Magnetismus an verſchiedenen Punkten eines Magnets benutzt werden kann. Dieſelbe rührt von H. vom Kolke her, und beſteht im Weſentlichen darin *), daß die Intenſität an verſchiedenen Stellen eines Magnets direct durch die Beſtimmung der Kraft ermittelt wird, welche nöthig iſt, um ein kleines von einem beſtimmten Punkte angezogenes Eiſenſtück abzuziehen. An einer Wage, an welcher wegen der Nähe des Magnets Nichts von Eiſen gearbeitet war, und die bei einer Belaſtung von 500 Grm. noch 0,5 Gr. ausſchlug, hing auf der einen Seite eine Schale, auf der anderen ein äquilibrirendes Gewicht, woran durch einen Seidenfaden ein kleines 1,7 Gr. und 4,5 mm dickes Eiſenſtäbchen befeſtigt war. v. Kolk ſtellte ſeine Beobachtungen meiſt an einem großen Elektromagneten an. Die Wage wurde auf einen Tiſch ſo geſtellt, daß, wenn dieſelbe im Gleichgewichte war und das (gewöhnlich zugeſpitzte) Eiſenſtäbchen den beſtimmten Punkt mit ſeiner Spitze berührte, die Wagſchale noch etwa 5 bis 10 mm von der Tiſchplatte entfernt war. Wurde nun bei der Erregung des Elektromagneten das Eiſenſtäbchen feſtgehalten, ſo ſchüttete Kolk auf die Wagſchale ſo lange feinen Bleiſchrot hinzu, bis das Stäbchen abriß. Im Allgemeinen fand er, daß der Magnetismus an den Kanten ſtärker iſt, als auf den Flächen, und hier um ſo ſchwächer wird, je weiter man ſich von den Kanten entfernt. Bei ſchwächerem Magnetismus iſt aber das Verhältniß zwiſchen der Stärke der Mitte und des Randes größer, als bei ſtärkerem.

Der Magnetismus eines geradlinigen regelmäßig magnetiſirten Stahlſtabes nimmt von der Mitte nach den Polen hin anfangs langſam und je näher den Polenden immer raſcher zu, und die Verſchiedenheit der Intenſitätscurven iſt abhängig von der Stärke des Magnetismus und von dem Verhältniß der Längen- und Breitenausdehnung. Auch hier gilt das Geſetz, daß der Magnetismus an den Kanten ſtärker iſt als auf den Flächen. Das Maximum des Magnetismus iſt an den Ecken der Enden und auf den ſchmalen Seiten ſtärker als auf den breiteren, wenigſtens innerhalb gewiſſer Grenzen. Die anziehende Wirkung iſt um ſo größer, je mehr Punkte des Magnets auf das abzuziehende Eiſenſtäbchen wirken können, und je näher dieſe demſelben ſind.

Beiläufig ſei hier auch noch erwähnt, daß das Magnetiſiren von Stahlſtäben nach Kolk's Erfahrungen am bequemſten und ſchnellſten bis zum Maximum mit Hülfe eines ſtarken Elektromagneten geſchieht, deſſen Pole nach oben gerichtet ſind. Auf die letzteren legt man glatt geſchliffene Halbanker in einer ſolchen Entfernung von einander auf, daß die Polenden des zu magnetiſirenden Stahlſtabes gerade auf die einander zugekehrten Enden der aufgelegten Halbanker gelegt werden können. Hierauf magnetiſirt man den Elektromagneten durch einen ſtarken galvaniſchen Strom und ſetzt den zu magnetiſirenden Stab durch einige Schläge in eine vibrirende Bewegung. Nach kurzer Zeit hat der Stab ſo viel Magnetismus angenommen, als Kolk ihm weder durch Streichen mit einem anderen Stahlmagneten noch durch die Elias'ſche Spirale ertheilen konnte.

*) Vergl. Pogg. Ann. Bd. LXXXI. S. 321.

Daß die Wärme Einfluß auf den Magnetismus hat, iſt bereits erwähnt worden. Dieſer Einfluß macht ſich, wie wir ſehen werden, in verſchiedenen Beziehungen geltend. — Gilbert *) ſchon beobachtete, daß ein künſtlicher Magnet bis zum Weißglühen erhitzt, keine magnetiſche Polarität mehr verräth. Boyle bemerkte daſſelbe bei natürlichen Magneten, und dann fanden auch Servington-Savery **) und Lemery ***) den ſchwächenden Einfluß der Wärme auf den Magnetismus. Gilbert ****) nahm auch wahr, daß die Magnetnadel von einem ſtark glühenden Eiſen nicht im geringſten afficirt werde, daß aber die Anziehung ſich alsbald wieder einſtelle, wenn es nur etwas vom Weißglühen nachgelaſſen habe. Dies beſtätigten Lieutaud *****), Brugmans und Cavallo †).

Barlow ††) beobachtete einige bemerkenswerthe Ungleichheiten bei verſchiedenen Eiſen- und Stahlſorten bezüglich der Empfänglichkeit für den Magnetismus bei verſchiedenen Temperaturen, indem er Stäbe in der Richtung der magnetiſchen Neigung befeſtigte und die Ablenkung einer in beſtimmter Entfernung aufgeſtellten Compaßnadel beobachtete. Die Stäbe waren alſo dem magnetiſirenden Einfluſſe des Erdmagnetismus ausgeſetzt, und nahmen dadurch ſelbſt Magnetismus an, der auf die Magnetnadel wirkte. Das Schmiedeeiſen zeigte ſich nun bei gewöhnlicher Temperatur am ſtärkſten magnetiſch; nach ihm kamen in abnehmendem Grade ungehärteter Gußſtahl und Stahl, gehärteter Gußſtahl und Stahl, und Gußeiſen. Als aber Stäbe aus dieſen Metallen erhitzt wurden, trat ein anderes Verhalten ein, und gerade das Gußeiſen verrieth in der Temperatur zwiſchen dem Roth- und Weißglühen den ſtärkſten Magnetismus. Ein Eiſenſtab, bis zum Weißglühen erhitzt, war dem Anſchein nach ganz indifferent gegen den magnetiſirenden Einfluß. Dieſer machte ſich jedoch ſofort geltend, als der Stab erkaltete, und zwar am ſtärkſten bei der Rothgluth deſſelben. Dies Verhalten drückt man ſo aus, daß man ſagt: die Coërcitivkraft des Eiſens ſei in der Weißglühhitze am ſtärkſten und während des Rothglühens ſchwächer als ſonſt, oder was daſſelbe iſt, die Empfänglichkeit des Eiſens für den Magnetismus iſt bei jener Temperatur am geringſten, bei dieſer am größten. Verſuche von J. Seebeck †††) beſtätigten, daß Eiſenſtäbe nach dem Glühen empfänglicher für den Erdmagnetismus ſind, als vor demſelben. So wurde die anziehende Kraft eines kalten Stabes auf die Magnetnadel durch das Glühen von 13° bis auf 42° geſteigert. Und kalte Eiſenſtangen erhalten auch, ſelbſt wenn ſie mehrere Tage vertical geſtellt werden, nie die Stärke des Magnetismus und nie ſo feſte Pole, wie die glühenden und in dieſer Stellung erkaltenden Stangen in ſehr kurzer Zeit gewinnen.

*) Fiat examen in ignibus, immoderatis naturae tyrannis. L. III. c. 3.

**) Philos. Trans. 1730. No. 414. p. 314.

***) Mém. de l'Acad. de Paris 1706. p. 131.

****) De magnete. p. 69.

*****) Vinc. Leutaudi soc. Jes. Magnetologia. Lugd. 1668. 4. L. II. c. 4. p. 374.

†) Philoſ. Verſuche über die magnetiſche Materie, deutſch von Eſchenbach. S. 13. Cavallo: Abhandl. vom Magnet. S. 191.

††) Essay on magnetic attraction. 2. Edit.; Encyclop. Metropolit. Art. Magnetism. p. 757 ff.; Philos. Transact. f. 1821. p. 1.

†††) Abhandl. der phyſik. Claſſe der Akad. der Wiſſenſch. in Berlin. 1827. S. 129. Pogg. Ann. Bd. X. S. 47.

Einige ſpätere Beobachtungen Ritchie's *) führten im Weſentlichen zu denſelben Reſultaten.

Während die Empfänglichkeit des Eiſens für den Magnetismus durch Erhöhung der Temperatur geſteigert wird, nimmt umgekehrt die Kraft ſelbſtſtändiger Magnete durch die Erwärmung der letzteren ab, und zwar nicht erſt dann, wenn ſie vollſtändig ausgeglüht werden, ſondern ſchon bei geringen Graden der Erwärmung. In dieſer Beziehung ſtellte zuerſt Canton **) Verſuche an, welche durch Hällſtröm ***) beſtätigt wurden. Sauſſure ****) gab ein Werkzeug an, welches den ſchwächenden Einfluß der Wärme auf die magnetiſche Anziehung anſchaulich machte. Daſſelbe war ein Pendel, an deſſen unterem Ende eine Eiſenkugel befeſtigt war, welche von einem Magneten in beſtimmten Entfernungen angezogen und dadurch aus der verticalen Lage gebracht wurde. Das Verhalten des Stahles in hohen Temperaturen wurde von Coulomb unterſucht, welcher auch fand, daß der harte Stahl durch die gleiche Erwärmung viel weniger von ſeiner Kraft verliert als der weiche. Verſuche von Hanſteen *****) hatten die Beſtimmung des Härtegrades zum Zwecke, bei welchem Stahl die meiſte Empfänglichkeit für den Magnetismus und die größte Fähigkeit zu ſeiner Feſthaltung beſitzt. Dieſe Verſuche führten jedoch zu keinen beſtimmten Reſultaten. Von Chriſtie †) angeſtellte Verſuche beſtätigten im Allgemeinen, daß Kälte die Intenſität des Magnetismus vermehrt, Wärme ſie vermindert. Nach ihm iſt die Wirkung der Wärme eine plötzliche, woraus er ſchließt, daß die magnetiſche Kraft ſich vorzugsweiſe an der Oberfläche befinde. Bei einer Temperatur über 30° R. wurde ein Theil der magnetiſchen Kraft bleibend zerſtört. Kupffer ††) wendete zur Beſtimmung des Einfluſſes der Wärme auf den Magnetismus die Methode der Schwingungen an. Eine cylindriſche Nadel von Gußſtahl ruhte in einem kleinen meſſingenen Ringe, der an Seidenfäden aufgehängt war, und unterhalb dieſer Nadel befand ſich ein friſch magnetiſirter Stahlſtab, der in einem kupfernen Troge in Waſſer verſenkt war, welches bis auf 80° R. erhitzt wurde. Die Nadel machte unter dem alleinigen Einfluſſe des Erdmagnetismus 300 Schwingungen in 742 Secunden bei 13° R., über dem Magnetſtabe aber bei derſelben Temperatur in 429 Secunden. Die Dauer der Oscillationen hielt mit den Graden der Erwärmung gleichen Schritt, ſo daß beiſpielsweiſe die Schwingungszeit von 10° bis 45° Wärme um eben ſo viele Secunden zunahm, wie von 45° bis 80°. Innerhalb dieſer Grenzen iſt die Zunahme der Schwingungszeiten der Abnahme der magnetiſchen Kraft ziemlich genau proportional, woraus mit einiger Sicherheit das Geſetz folgt, daß die Abnahme der magnetiſchen Intenſität durch die Wärme mit der Zunahme der letzteren im einfachen Verhältniſſe ſteht. — Die Nadel kam aber beim Erkalten des Stabes nicht wieder auf die frühere Schwingungszeit zurück, und dies iſt eine Folge davon, daß durch die Erwärmung ein bleibender Verluſt an Magnetismus herbei-

*) Pogg. Ann. Bd. XIV. S. 150.
**) Phil. Transact. f. 1759. Vol. LI. p. 398.
***) Gilbert's Ann. Bd. XIX. S. 282.
****) Voy. dans les Alpes. T. I. p. 378, T. IV. p. 313.
*****) Pogg. Ann. Bd. III. S. 236.
†) Phil. Transact. f. 1825. pt. I. Pogg. Ann. Bd. VI. S. 239.
††) Ann. de Chim. et de Phys. T. XXX. p. 113

geführt wird. — Ein späterer Versuch Kupffer's zeigte *), daß der Verlust an Magnetismus, welchen die Wärme herbeiführt, nicht gleichförmig in der ganzen Länge eines Stabes stattfindet. Erwärmt man aber nur die eine Hälfte eines Magnets, so entfernt sich der Indifferenzpunkt oder die neutrale Zone vom erwärmten Ende und rückt dem kälteren näher.

Rieß und Moser unterwarfen die bisher bekannten Versuche einer neuen Prüfung, wobei sie sich gleichfalls der Methode der Schwingungen, unter Berücksichtigung besonderer Vorsichtsmaßregeln, bedienten **). Auch sie fanden eine zwiefache Wirkung der Wärme auf den Magnetismus, eine bleibende und eine vorübergehende. Bezüglich der ersteren wurde eine weiche Stahlnadel wiederholt in siedendes Wasser getaucht und nach der Abkühlung jedesmal auf die Anzahl ihrer Schwingungen untersucht. Die magnetische Kraft zeigte sich nach jedem Eintauchen schwächer, auch wenn die Nadel keine Veränderung in ihrer Masse durch Oxydation oder auf andere Weise erlitten hatte. Die Art des Erhitzens oder des Erkaltens nach der Erhitzung war von keinem bemerkbaren Einfluß auf das Resultat. Die Schwächung des Magnetismus durch fortgesetztes Eintauchen der Nadel in siedendes Wasser wurde aber immer geringer, so daß endlich ferneres Eintauchen keine Wirkung mehr hatte. Nadeln aus hartem Stahl erfahren eine viel größere Verminderung ihres Magnetismus, als die weichen, und haben nach dem vollständigen Erkalten eine stärkere Kraft als während desselben. Werden sie wiederholt magnetisirt und wieder erhitzt, so wird ihr Kraftverlust immer geringer und sinkt zuletzt zu einer verschwindenden Größe herab.

Weber ***) beobachtete endlich die Variationen der Ablenkung, welche ein den Temperaturveränderungen ausgesetzter Magnetstab an einem anderen beweglich aufgehängten hervorbringt. Zu diesen Beobachtungen ließ sich das von Gauß construirte Magnetometer (s. d. Art.) zweckmäßig benutzen. Nach Weber's Beobachtungen sind nun die vom Wärmeeinfluß herrührenden Variationen des Stabmagnetismus bei steigender Temperatur einem anderen Gesetze unterworfen als bei sinkender. Dieselben hängen auch von der Intensität des Magnetismus ab, und sind bei starkem Magnetismus weit geringer, als bei schwachem; sie treten nicht augenblicklich in vollem Maße ein, sondern es dauert die Wirkung einer Temperaturveränderung noch fort, wenn schon eine constante Temperatur vorhanden ist.

Bezeichnet man durch J und J' die Intensitäten des Magnetismus bei den Temperaturen t^0 und t'^0, und durch d den Durchmesser einer Nadel in Pariser Linien, so kann man die vorübergehende Wirkung der Wärme für cylindrische, 2 Zoll lange Stahlnadeln nach der Formel $J' = J\,(1 - 0{,}000461\,(t' - t)\,d$ berechnen. Für Nadeln von 34 Linien und etwas darüber hat man in ähnlicher Weise die Formel $J' = J\,(1 - 0{,}000324)\,(t' - t)\,d$.

Pouillet ****) setzt die Temperaturgrenze, bei welcher das Eisen seine magnetische Anziehung verliert, in die Kirschrothhitze, für Nickel bei 350° C., für Chrom unterhalb der Rothgluth, und für Mangan bei — 15 bis 20°. Nach

*) Ann. de Chim. et de Phys. T. XXXVI. p. 68. Pogg. Ann. Bd. XII. S. 134.
**) Pogg. Ann. Bd. XVII. S. 403.
***) Resultate aus den Beobachtungen des magn. Vereins im J. 1837. S. 38.
****) Elémens de Phys. 3me éd. T. II. p. 381.

Faraday *), der mit reinen Metallen operirte, verliert das Eisen seine magnetische Eigenschaft beim Hellrothglühen, und verhält sich hier wie andere Metalle. Nickel verliert seinen Magnetismus bei etwa 340° C., und zwar sehr plötzlich. Stahlmagnete verlieren ihre Polarität ungefähr bei 330° C. und verhalten sich dann wie Eisen bis zum Hellrothglühen. Natürliche Magnete verlieren aber ihre Polarität erst nahe unter dem Punkte des sichtbaren Glühens, und die Fähigkeit, sich wie Eisen gegen einen magnetisirenden Einfluß zu verhalten, erst bei starkem Hellrothglühen. Indessen hat Faraday später durch Anwendung sehr starker Magnete, wie sie durch den elektrischen Strom erhalten werden können, gefunden, daß das Eisen und überhaupt alle magnetischen Metalle und deren Verbindungen bis zu einem gewissen Grade bei jeder Temperatur die Fähigkeit, durch Vertheilung magnetisch zu werden, behalten **).

Wie die Wärme, so haben auch mechanische Wirkungen Einfluß auf den Magnetismus in entgegengesetzten Beziehungen. So haben wir schon erwähnt, daß das Magnetisiren des Eisens durch eine Erschütterung des letzteren begünstigt wird, während umgekehrt der Magnetismus selbstständiger Magnete dadurch geschwächt werden kann. Höchst wahrscheinlich kommt dies daher, daß die Theilchen des Eisens beim Magnetisiren ihre gewöhnliche Gleichgewichtslage verlassen und auf gewisse Weise in Bewegung gerathen. Für eine solche Bewegung sprechen auch folgende Erscheinungen.

Im Art. Galvanismus (Bd. III. S. 327 ff.) war die Rede von gewissen Tönen, welche durch continuirliche und discontinuirliche elektrische Ströme in verschiedenen Metalldrähten unter Umständen hervorgebracht werden können. Und im Art. Elektromagnetismus haben wir die Thatsache hervorgehoben, daß ein Eisenstab im Moment seiner Magnetisirung durch den galvanischen Strom einen eigenthümlichen Ton giebt. Derselbe wurde von Page ***) zuerst bemerkt, und diese Thatsache dann durch Delezeune ****) bestätigt. Weitere Untersuchungen über diesen Gegenstand hat Wertheim angestellt, der in seiner Abhandlung auch einige literarische Nachweisungen bezüglich anderer hierher gehöriger Versuche giebt. Ein Eisenstab oder ein ausgespannter Eisendraht, der sich in der Axe eines von einem elektrischen Strome durchflossenen Schraubendrahtes befindet, entwickelt nach Marrian *****) einen Ton, der identisch ist mit dem, welchen man erhält, wenn man an den Stab, an einem seiner Enden, in der Richtung seiner Axe schlägt, wogegen ein Schlag von der Seite her nichts Aehnliches bewirkt. Matteucci †) wiederholte diese Versuche. De la Rive ††) und Beatson †††) fanden, jeder für sich, daß der direct durch einen Eisendraht gehende Strom ebenfalls einen Ton in demselben erzeugt. Und Guille-

*) Lond. and Edinb. Phil. Mag. T. XLVI. p. 177. Pogg. Ann. Bd. XXXVII. S. 423.

**) Pogg. Ann. Bd. LXX. S. 25. 58.

***) Silliman, American. Journ. 1837. July (Pogg. Ann. Bd. XLIII. S. 411).

****) Bibliothèque univ. Ser. nouv. T. XVI.

*****) L'Instit. No. 576. Pogg. Ann. Bd. LXIII. S. 330.

†) L'Instit. No. 609.

††) Compt. rend. de l'Acad. 28. Avr. 1845 (T. XX. p. 1287). Pogg. Ann. Bd. LXV. S. 637.

†††) Electrical Magazine. April 1845.

min *) hat beobachtet, daß ein weicher Eisenstab, der von einem Schraubendraht umgeben, an einem seiner Enden in horizontaler Lage befestigt und am anderen mit einem unbedeutenden Gewicht beschwert ist, sich im Moment, wo man einen Strom durch den Schraubendraht leitet, sichtbar gerade richtet. De la Rive zeigte aber ferner, daß der Uebergang des elektrischen Stromes, selbst in starren Substanzen, die Anordnung der Theilchen modificirt, ein Satz, den auch anderweitige Beobachtungen gelehrt haben. Die Wirkung des Magnetismus, unter welcher Form sie auch ausgeübt werden möge, modificirt nach De la Rive ebenfalls die Constitution aller Körper, und diese Modification dauert so lange als die sie erzeugende Ursache, und verschwindet auch mit ihr. Alle Leiter lassen, wenn sie dem Einflusse eines starken Elektromagneten ausgesetzt sind, im Moment des Durchganges eines unterbrochenen elektrischen Stromes einen sehr deutlichen Ton hören, analog dem des gezahnten Rades von Savart. Der Einfluß des Magnetismus auf alle leitenden Körper scheint darin zu bestehen, daß er ihnen, so lange er dauert, eine analoge Constitution einprägt, wie die, welche das Eisen von Natur besitzt; denn er entwickelt in ihnen die Eigenschaft, beim Durchgange von discontinuirlichen Strömen Töne zu geben, die identisch sind mit denen, welche Eisen und andere Metalle ohne Hülfe der Wirkung eines Magnets geben **).

Wertheim ***) hatte nun schon früher nachzuweisen gesucht, daß die Magnetisirung von einer sehr kleinen Verringerung des Elasticitätscoefficienten des Eisens begleitet ist, die bei Unterbrechung des magnetisirenden Stromes nur theilweise verschwindet, und daß dieser Effect sich nicht augenblicklich äußert, sondern erst nach fortgesetzter Einwirkung des Stromes. Die Resultate seiner weiteren Versuche sind nun folgende ****). Ein Schraubendraht, durch welchen ein elektrischer Strom fließt, übt auf eine in demselben befindliche Eisenmasse eine mechanische Anziehung aus, die identisch ist mit der, welche nach Arago's Entdeckung ein Leitungsdraht auf Eisenfeile ausübt. Diese Anziehung läßt sich betrachten als die Resultante zweier Kräfte, einer longitudinalen und einer transversalen. Die Anziehung ist proportional der Stromstärke und der Eisenmasse. Die longitudinale Componente kann, je nach der Lage des Schraubendrahtes, den Eisenstab verlängern oder verkürzen. Die transversalen Componenten, deren mechanisches Aequivalent sich leicht in Gewichten ausdrücken läßt, sobald das Eisen eine excentrische Lage hat, heben sich gegenseitig auf, wenn das Eisen in der Mitte des Schraubendrahtes liegt. — Der durchgeleitete Strom erzeugt in dem eisernen Leiter, den er durchläuft, einen plötzlichen Stoß. Zwischen der Wirkung des Stromes und derjenigen einer im gleichen Sinne wirkenden mechanischen Kraft herrscht eine vollständige Analogie. — Alle deutlichen Töne, die man in Stäben, Drähten oder Platten von Eisen oder Stahl, entweder mittelst eines einzigen äußeren oder durchgeleiteten Stromes oder mittelst irgend einer Combination dieser

*) Compt. rend. 9. Feb. 1846. (T. XXII. p. 264.)

**) Ann. de Chim. et de Phys. Ser. III. T. XIX. p. 377. Pogg. Ann. Bd. LXXVI. S. 270.

***) Ann. de Chim. et de Phys. Ser. III. T. XII. p. 610. Pogg. Ann. Ergänzungsband II. S. 99.

****) Ann. de Chim. et de Phys. Ser. III. T. XXIII. p. 302. Pogg. Ann. Bd. LXXVII. S. 43.

beiden Arten von Strömen erregen kann, finden ihre Erklärung in den vorher aufgestellten Sätzen. Am Schlusse seiner Abhandlung erhebt Wertheim unter anderen noch die Frage, ob eine Eisenmasse, unabhängig von der mechanischen Wirkung des Schraubendrahtes, durch ihre bloße Magnetisirung eine Verlängerung erleide.

Eine bedeutende Erweiterung erhielt die Lehre vom Magnetismus im Jahre 1845, wo Faraday *) durch Anwendung sehr starker Magnete, die ihm zu Gebote standen, die Wahrnehmung machte, daß alle Körper, starre und tropfbarflüssige, in bestimmter Weise vom Magnetismus afficirt werden. — Coulomb **) hatte schon 1802 beobachtet, daß der Magnetismus auf eine Menge von Körpern Wirksamkeit äußert. Derselbe gab den verschiedenartigsten Körpern die Gestalt kleiner Cylinder oder Nadeln, die er an feinen Coconfäden aufhing und nach einander zwischen die entgegengesetzten Pole zweier starker Magnetstäbe brachte, welche in derselben geraden Linie lagen. Die kleinen Cylinder stellten sich in die Richtung der beiden Stäbe und kehrten in diese Richtung nach einer Reihe von Oscillationen zurück, wenn man sie aus derselben herausbrachte. Coulomb leitet diese Erscheinung aus beigemengten Eisentheilchen ab, und in den meisten Fällen mag es sich wirklich so verhalten haben. Biot ***) bemerkt in dieser Beziehung, daß unter allen bekannten Mitteln, das Dasein von Eisen in Kunsterzeugnissen und Mineralien zu entdecken, die Methode der Oscillation das empfindlichste und einfachste sei. Man brauche nur Nadeln aus den zu prüfenden Substanzen zu bilden, sie zwischen zwei starken Magneten oscilliren zu lassen und ihre Oscillationen mit denen einer Nadel zu vergleichen, welche aus einem bekannten Gemisch von Eisen und einer anderen nicht magnetischen Substanz verfertigt ist. — Eine neue Bedeutung gewannen diese Versuche durch Seebeck ****) und Becquerel †). Verschiedene Metalle, und selbst Legirungen solcher Metalle mit verschiedenen Mengen von Eisen oder auch Nickel nahmen durch den Einfluß eines oder zweier Magnetstäbe eine von der gewöhnlichen (magnetischen) Stellung abweichende Lage an, so daß sie nach Seebeck nicht sowohl longitudinal (d. h. in der Richtung der Längenaxe), als vielmehr transversal magnetisirt erschienen. Becquerel brachte eine Nadel von weichem Holz, welche 4 Centimeter lang war und 2 Millimeter im Durchmesser hatte, über den Zwischenraum der entgegengesetzten Pole zweier Magnetstäbe, welcher 3 bis 4 Millimeter betrug. Befand sich der Aufhängepunkt so nahe als möglich an den Stäben, so stellte sich die Nadel senkrecht auf die Linie der Pole, anstatt sich in die Richtung derselben zu stellen, wie Coulomb beobachtet hatte, wenn sich die Enden der Stäbe in einer gewissen Entfernung von einander befanden. Entfernte man aber nach und nach die Enden, so stellte sich die Nadel allmälig in die Richtung der Pole. Die durch einen starken Magnetstab hervorgebrachten Wirkungen an schwach magnetischen

*) Phil. Transact. f. 1846. pt. I. Pogg. Ann. Bd. LXIX. S. 280, Bd. LXX. S. 32.

**) Mém. de l'Institut. 1812. Gilbert's Ann. Bd. LXIV. S. 395.

***) Traité de Physiq. T. III. p. 117. Gilbert's Ann. Bd. LXIII. S. 104.

****) Pogg. Ann. Bd. X. S. 203.

†) Ann. de Chim. et de Phys. T. XXXVI. p. 337. Pogg. Ann. Bd. X. S. 622.

oder gewöhnlich für unmagnetisch gehaltenen Körpern unterscheiden sich also wesentlich von denen, welche an Stahl oder Eisen auftreten. Auch Becquerel suchte diese Erscheinungen auf den Unterschied der longitudinalen und transversalen Magnetisirung zurückzuführen. Während bei Stahl und Eisen die Vertheilung des Magnetismus stets in der Längenrichtung stattfindet, soll die Magnetisirung bei schwach magnetischen und anderen Körpern in einem Sinne geschehen, welcher von der Entfernung des Körpers von den Polen des Magnets abhängt, so daß die Vertheilung des Magnetismus sich zugleich mit der Richtung verändere, welche der Magnet dem Körper, gemäß seiner Wirkung auf ihn, gebe.

Aehnliche Erscheinungen hatte Muncke *) schon früher an einem Messingdrahte wahrgenommen. Noch vor Coulomb aber hatte Brugmanns **) eine große Anzahl von Substanzen aufgeführt, die unter gewissen Umständen Magnetismus verrathen, so namentlich fast alle Substanzen, denen etwas Eisen beigemischt ist. Brugmanns brachte die zu prüfenden Stoffe meist auf reines Quecksilber oder er ließ sie in einem Schiffchen auf Wasser schwimmen und hielt dann einen mehr oder weniger starken Magnetstab entgegen. Von demselben wurde denn auch beobachtet, daß Wismuth von den Polen eines starken Magnets abgestoßen wird, was nachher auch von Becquerel nicht allein am Wismuth, sondern auch am Antimon bemerkt wurde ***). Durch Faraday wurde es endlich zur Gewißheit gebracht, daß alle Körper von starken Magneten mehr oder weniger afficirt werden, und zwar auf zweierlei Weise. Die einen Körper werden nämlich wie Eisen von den beiden Polen eines Magnets angezogen; und diese Körper können als magnetische im gewöhnlichen Sinne betrachtet werden. Die anderen werden dagegen von beiden Polen eines Magnets abgestoßen, wie dies unter den Metallen namentlich beim Wismuth der Fall ist. Solche Körper nennt man diamagnetische, im Gegensatze zu den gewöhnlichen magnetischen, die man wohl auch paramagnetische Körper nennt. Unter den Metallen erscheinen außer Eisen, Nickel, Kobalt, Chrom und Mangan noch magnetisch Titan, Platin, Osmium, Cerium, Palladium, Silicium, Aluminium ****) und Beryllium.

Man habe nun einen starken Elektromagneten in Hufeisenform, dessen Schenkel vertical aufwärts gestellt seien (s. umstehende Figur). Giebt man dann verschiedenartigen Körpern die Gestalt kleiner Cylinder, so werden diese, an Coconfäden frei beweglich zwischen den Magnetpolen aufgehängt, zwischen den letzteren eine bestimmte Stellung einnehmen, je nachdem sie von denselben angezogen oder abgestoßen werden. So wird ein Stäbchen aus Eisen sich längs der Verbindungslinie beider Pole, ein Stäbchen aus Wismuth dagegen sich senkrecht

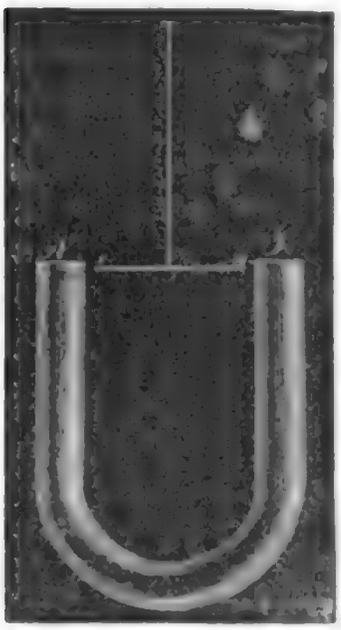
*) Pogg. Ann. Bd. VI. S. 361.

**) Magnetismus seu de affinitatibus magneticis observationes magneticae. 1778. Aus d. Lat. von Eschenbach.

***) Vergl. auch Le Baillif über die Abstoßung eines Magnets durch Wismuth und Antimon: Bulletin universel. 1827. Vol. VII. p. 371, Vol. VIII. p. 87. 91. 94. Pogg. Ann. Bd. X. S. 507. Und Saigny, über den Magnetismus gewisser natürlicher Verbindungen von Eisen, und über die wechselseitige Abstoßung der Körper im Allgemeinen: Bullet. univ. 1828. Vol. IX. p. 89. 167. 239.

****) Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 618 ff.

gegen dieſe Linie ſtellen. Jene Stellung nennt man der Kürze wegen die axiale, dieſe die äquatoriale Stellung. Die magnetiſchen Körper ſtellen ſich alſo unter ſolchen Umſtänden axial, die diamagnetiſchen äquatorial. — Eiſenſalze erſcheinen magnetiſch. So wurde Eiſenvitriol in klaren Kryſtallen angezogen und axial geſtellt, wie auch jede Verbindung, die Eiſen als Baſis enthält. Tropfbare Flüſſigkeiten kann man in cylindriſche Glasröhrchen einſchließen und dann in derſelben Weiſe auf ihre magnetiſche oder diamagnetiſche Eigenſchaft zwiſchen den Magnetpolen unterſuchen. Grünes Bouteillenglas iſt wegen des darin enthaltenen Eiſens verhältnißmäßig ſehr magnetiſch, und kann deshalb nicht wohl als Röhren zum Einſchluß anderer Subſtanzen angewendet werden. Auch Kronglas iſt magnetiſch, nicht aber Flintglas, das ſich äquatorial ſtellt. Füllt man nun eine dünne unmagnetiſche Glasröhre mit einer magnetiſchen Flüſſigkeit, z. B. mit einer Löſung von Eiſenvitriol in Waſſer, ſo ſtellt ſie ſich zwiſchen den Magnetpolen axial, mit reinem Waſſer gefüllt aber äquatorial. Es kann aber auch, wenn magnetiſche mit diamagnetiſchen Subſtanzen gemiſcht ſind, je nach dem Miſchungsverhältniſſe die Anziehung oder Abſtoßung vorherrſchen, und demgemäß wohl auch eine ſolche Miſchung indifferent erſcheinen, wie man erkennt, wenn man Glasröhrchen mit einer mehr oder weniger concentrirten Löſung von Eiſenvitriol in Waſſer füllt. Beſondere Erſcheinungen werden bewirkt, wenn ein magnetiſcher oder diamagnetiſcher Körper ſich in einem gleich- oder ungleichbeſchaffenen Medium befindet. So ſtellt ſich ein magnetiſcher Körper in einer ſtärker magnetiſchen Flüſſigkeit äquatorial, in einer ſchwächer magnetiſchen axial, während er in einer gleich ſtark magnetiſchen indifferent erſcheint. Ein diamagnetiſcher Körper ſtellt ſich aber, umgeben von einem magnetiſchen oder diamagnetiſchen Medium, äquatorial.



Der Diamagnetismus verſchiedener Subſtanzen, wie des Wismuths, Antimons, Phosphors, Kupfers, Silbers, Glaſes, Elfenbeins ꝛc. kann auch ſchon an kleineren Elektromagneten beobachtet werden. Auf die Endflächen des Hufeiſens legt man gewöhnlich Halbanker aus Eiſen, welche parallelopipediſch geſtaltet ſind und eine dem Durchmeſſer der Schenkel gleiche Breite haben.

Die Enden dieſer Halbanker bilden ſtumpfe Kegel, welche in größerer oder geringerer Entfernung einander horizontal gegenüber geſtellt werden können.

Poggendorff gebrauchte zur Darſtellung vieler dieſer Erſcheinungen einen Elektromagneten, der aus einem 20 Millimeter dicken und 350 Millimeter langen, hufeiſenförmig gebogenen Eiſenſtab beſtand, deſſen Schenkel 50 Millimeter aus einander ſtanden, und mit vier Pfund Kupferdraht von 1,8 Millim. Dicke auf aufgeſchlitzten Meſſinghülſen zweckmäßig umwickelt waren.

Plücker*) fand, daß jeder aus magnetiſchen und diamagnetiſchen Subſtanzen in ſolchem Verhältniſſe gemiſchte Körper, daß weder Magnetismus noch

*) Pogg. Ann. Bd. LXXV. S. 413. Vergl. auch Bd. LXXII. S. 343.

Diamagnetismus ſtark vorherrſcht, zwiſchen den beiden Magnetpolen beweglich aufgehängt, ſich bei größerer Polnähe diamagnetiſch, bei geringerer magnetiſch verhält. Und ſpäter zeigte ſich, daß dieſelbe Umkehrung von Diamagnetismus in Magnetismus erfolgt, wenn man, ohne daß die Entfernung der Pole ſich ändert, den Elektromagnetismus einmal durch eine geringere, das andere Mal durch eine größere Anzahl von galvaniſchen Elementen erregt. So ſtellte ſich ein Stückchen Holzkohle bei größerer Nähe der Pole äquatorial, bei größerer Entfernung derſelben aber axial, und ſo konnte auch durch Zunahme der Kraft der Magnetpole, bei unveränderter Entfernung der letzteren, der Magnetismus der Holzkohle in Diamagnetismus verwandelt werden. Plücker ſprach dieſe Erſcheinungen in dem Geſetze aus, daß die magnetiſche Anziehung mit der Entfernung langſamer abnimmt, als die diamagnetiſche Abſtoßung, und dies fand ſpäter ſeine nähere Erklärung darin, daß der Magnetismus bei fortgeſetzter Steigerung des magnetiſirenden Einfluſſes ſich einer beſtimmten Grenze nähert, während der Diamagnetismus mehr ins Unbeſtimmte der Kraft, welche auf den diamagnetiſchen Körper einwirkt, proportional wächſt. Deshalb kann bei Annäherung jener Körper an die Magnetpole der Diamagnetismus fortwährend wachſen und die magnetiſche Wirkung übertreffen, dieſe aber auch bei größerer Entfernung der Pole wieder überwiegend werden. — Hieran dürften ſich einige Verſuche von Oerſted *) ſchließen, nach denen gewiſſe Körper durch die Art und Weiſe ihrer Aufhängung, nämlich zwiſchen oder über oder unter den Polflächen des Magnets aus der axialen Stellung in die äquatoriale übergeführt werden können. So nahmen Titan, Platin, Iridium, Palladium zwiſchen den beiden Polarflächen des Elektromagnets aufgehängt die axiale Stellung an, welche aber nach Oerſted, wenn man dieſelben über die oberen Ränder der Polarflächen ſteigen oder unter die unteren hinabgehen ließ, in die äquatoriale Lage überging. Dieſelbe Eigenſchaft fand Oerſted auch bei einer aus Zink, Wismuth und Zinn beſtehenden Legirung, bei Meſſing, Holzkohle, Coaks, Obſidian, Spatheiſenſtein, Berlinerblau und Eiſenlöſungen, nicht aber beim Eiſen und Nickel, und wahrſcheinlich auch nicht beim Kobalt. Oerſted ſpricht hiernach von einer abnehmenden magnetiſchen Progreſſion, welche die eigentlich magnetiſchen Körper, die diamagnetiſchen und unter dieſen (je nach den Umſtänden) anziehbare und abſtoßbare Körper umfaßt. Durch Erhöhung der Temperatur gingen einige anziehende diamagnetiſche Körper in abſtoßende über. Der einzige Körper, der dies in hohem Grade zeigte, war das Meſſing.

Zur Vergleichung der Intenſität des Magnetismus verſchiedener Subſtanzen brachte Plücker **) die letzteren in denſelben Raum, nämlich in ein durch einen Deckel abgeſchloſſenes Uhrglas. Es iſt dann bei conſtanter Stromſtärke die Kraft, mit welcher dieſe Subſtanzen von dem Elektromagnet angezogen werden, das relative Maß für ihren Magnetismus. Dividirt man daſſelbe durch das Gewicht der Subſtanzen, ſo ergeben ſich Zahlen, welche die relativen Intenſitäten des Magnetismus dieſer Subſtanzen bei gleichem Gewichte darſtellen. Um aber die Stärke der Anziehung zu beſtimmen, brachte Plücker das Uhrglas mit ſeinem Inhalte

*) Pogg. Ann. Bd. LXXV. S. 433.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXIV. S. 321. 336.

und seinem Deckel in einen dünnen Ring von Messing, der an drei etwa 200mm langen Seidenfäden an einer Wage hängt, die hinreichend fein ist, um ein Milligramm anzugeben, und an der, außer der Axe des Wagebalkens, kein Eisen sich befindet. Um die Wirkung bei schwachen Kräften zu verstärken, brachte er das Glas nicht mit einem einzelnen der beiden Pole des großen Elektromagnets in Berührung, sondern er legte auf diese die beiden oben erwähnten Halbanker aus Eisen, und näherte dieselben mit ihren abgerundeten Enden so, daß die geringste Entfernung derselben 6mm betrug, und ajustirte die Wage in der Art, daß das Uhrglas in dem Ringe, wenn die Wage tarirt war, gleichzeitig jeden der beiden Halbanker, und zwar in einem einzigen Punkte eben berührte. Nach Erregung des Magnetismus wurde das Uhrglas angezogen. In die auf dem anderen Ende des Wagebalkens aufgehängte Schale wurde so lange feiner Bleischrot und dann feiner Sand oder dünnes Papier in kleinen Stückchen aufgelegt, bis das Uhrglas von den Ankern abgerissen wurde. Es fand dies mit der größten Regelmäßigkeit statt, und bei kleineren Kräften differirten, nach einiger Uebung, die Resultate verschiedener Abwägungen unter einander nicht um mehr als ein Paar Milligramme. Das Gewicht des zugelegten Schrotes und Sandes oder Papiers war das Maß für die jedesmalige magnetische Kraft.

Substanzen von schmalz- oder wachsartiger Consistenz konnten in ähnlicher Weise wie bei Flüssigkeiten, genau das Uhrglas anfüllen; eben so auch, wenn dieselben sich in ein feines Pulver verwandeln ließen. In diesem letzteren Falle konnte man auch, um die Anziehung zu schwächen, das Pulver namentlich mit frischem Schweineschmalz höchst gleichmäßig vermengen und dann das Gemenge in das Uhrglas bringen. — Plücker giebt folgende übersichtliche Zusammenstellung für die Vergleichung der Intensitäten des Magnetismus verschiedener Substanzen, sowohl für sich, als auch in chemischer Verbindung mit anderen berechnet, und hierbei die Intensität des Magnetismus des Eisens gleich 100000 gesetzt.

1)	Eisen	100000
2)	Magneteisenstein	40227
3)	Eisenoxyd I.	500
4)	" II.	286
5)	Rotheisenstein	134
6)	Eisenglanz	533
7)	Eisenoxydhydrat	156
8)	Brauneisenstein	71
9)	Künstlicher Blutstein	151
10)	Trocknes schwefelsaures Eisenoxyd	111
11)	Eisenvitriol	78
12)	Gesättigte Lösung von salpeters. Eisenoxyd	34
13)	" " " salzs. Eisenoxyd	98
14)	" " " schwefels. Eisenoxyd	58
15)	" " " salzsaur. Eisenoxydul	84
16)	Eisenvitriol in seiner Lösung	126
17)	Schwefels. Eisenoxydul in Eisenvitriol	142
18)	Salpeters. Eisenoxydul in seiner Lösung	95
19)	Salzsaures Eisenoxyd " " "	224

20)	Schwefelſ. Eiſenoxyd in ſeiner Löſung	133
21)	Salzſ. Eiſenoxydul " " "	190
22)	Schwefelſaures Eiſenoxydul	219
23)	Eiſenchlorid in der Löſung	254
24)	Eiſenchlorür	216
25)	Eiſenkies	150
26)	Eiſenoxydul in der ſalzſauren Löſung	381
27)	" " " ſchwefelſauren Löſung	462
28)	Eiſenoxyd im Hydrate	206
29)	" " Blutſtein	168
30)	" in der ſalpeterſauren Löſung	287
31)	" in der ſalzſauren Löſung	516
32)	" in der ſchwefelſauren Löſung	332
33)	Eiſen im Magneteiſenſtein	55552
34)	" im Oxyd I.	714
35)	" " Oxyd II.	409
36)	" " Rotheiſenſtein	191
37)	" " Eiſenglanz	761
38)	" " Eiſenoxydhydrat	296
39)	" " Blutſtein	240
40)	" " Schwefelkies	321
41)	" " ſchwefelſ. Eiſenoxyd	349
42)	" " Eiſenvitriol	385
43)	" in der Löſung v. ſalpeterſ. Eiſenoxyd	410
44)	" " " " " ſalzſaurem "	737
45)	" " " " " ſchwefelſ. "	474
46)	" " " " " ſalzſaurem Eiſenoxydul	490
47)	" " " " " ſchwefelſ. "	594
48)	Nickeloxydul	35
49)	Nickeloxydulhydrat	108
50)	Salpeterſ. Nickeloxydul in ſeiner Löſung	65
51)	Salzſaures Nickeloxydul in ſeiner Löſung	100
52)	Nickelchlorür in derſelben	111
53)	Nickeloxydul in Hydrat	142
54)	Nickeloxydul in der ſalpeterſ. Löſung	164
55)	Nickeloxydul in der ſalzſ. Löſung	171
56)	Nickel im Oxydul	45
57)	Nickel im Oxydulhydrat	180
58)	Nickel in der ſalpeterſ. Löſung	208
59)	Nickel in der ſalzſ. Löſung	217
60)	Manganoxydhydrat	70
61)	Manganoxydoxydul	167
62)	Manganoxyd im Hydrat	78
63)	Mangan im Oxydhydrat	112
64)	Mangan im Oxydoxydul	232

Während das Eiſen für ſich ſo ſtark magnetiſch iſt, verliert es in den meiſten chemiſchen Verbindungen ſeinen Magnetismus in einem ſo hohen Grade, daß

dieſe bis auf die neueſte Zeit als dem Magnete nicht folgend oder als nicht magnetiſch angeſehen wurden. Daß aber die chemiſche Verbindung des magnetiſchen Metalls mit anderen Stoffen nicht immer ſchwächend wirkt, ſieht man ſchon am Magneteiſenſtein (Eiſenoxydoxyd), der einen hohen Grad von Magnetismus behauptet. Und beim Nickel iſt das Oxydulhydrat viel ſtärker magnetiſch als das Oxydul ſelbſt, indem das hinzutretende Hydratwaſſer den Magnetismus ungefähr auf das Vierfache verſtärkt.

Plücker *) hat auch die Intenſitäten des Diamagnetismus verſchiedener Subſtanzen mit einander verglichen. Das Uhrglas mit aufgeſchliffenem Deckel von Glas wurde nach einander mit den verſchiedenen Subſtanzen gefüllt, und das ſo gefüllte Uhrglas auf die beiden, ihre abgerundeten Enden einander zukehrenden, Halbanker ſo aufgeſetzt, daß es jeden derſelben nur in einem einzigen Punkte berührte. Das Uhrglas und der Meſſingring, in dem es aufgehängt wurde, waren aber beide magnetiſch. Wird daher in erſteres irgend eine diamagnetiſche Subſtanz gebracht, ſo iſt die Anziehung, die man beobachtet, der Ueberſchuß der magnetiſchen Anziehung jener beiden erſten über die diamagnetiſche Abſtoßung dieſer letzteren. Jene Anziehung war ſtärker als die diamagnetiſche Abſtoßung faſt aller von Plücker unterſuchten Subſtanzen, ſo daß das gefüllte Glas immer noch von den beiden Halbankern feſtgehalten wurde, und wie ein magnetiſcher Körper abgezogen werden konnte. Subtrahirt man hiernach von der Anziehung des leeren Glaſes die kleinere Anziehung des mit einer diamagnetiſchen Subſtanz gefüllten Glaſes, ſo erhält man die diamagnetiſche Abſtoßung, die dieſe Subſtanz durch den Elektromagneten erfährt. Auf dieſe Weiſe konnte der Diamagnetismus der verſchiedenen Flüſſigkeiten und ſolcher Körper, denen man überhaupt, namentlich auch durch Schmelzung, die Form des Innern des Uhrglaſes geben kann, zunächſt bei gleicher Form und gleichem Volumen mit einander verglichen werden.

Die erſte Columne der nachſtehenden Tabelle von Plücker giebt die Abſtoßung, welche die verſchiedenen, in das Uhrglas eingeſchloſſenen, Subſtanzen durch den Elektromagneten erleiden, ausgedrückt in Grammen. In der zweiten Columne iſt die diamagnetiſche Abſtoßung des Waſſers gleich 100 geſetzt, und hiernach die Abſtoßung der übrigen Subſtanzen berechnet. Dieſe Zahlen haben eine allgemeine Bedeutung, in der Art, daß wenn man die verſchiedenen Subſtanzen in eine andere gegebene Form bringt, und dieſe in gleichmäßiger Weiſe von den Polen abzieht, dieſelben Zahlen ſich ergeben müſſen. In der dritten Columne iſt die diamagnetiſche Abſtoßung, welche gleiche Gewichte der unterſuchten Subſtanzen erleiden, durch Zahlen ausgedrückt, indem wieder die Abſtoßung des Waſſers gleich 100 geſetzt iſt. Dieſe Zahlen geben alſo die entſprechenden diamagnetiſchen Abſtoßungen, wenn man in dieſelbe gegebene Form, gleichmäßig vertheilt, gleiche Gewichte der verſchiedenen Subſtanzen bringt.

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIV. S. 354.

	Diamagnetiſche Abſtoßung	Diamagnetismus bei gleichem Volumen	Diamagnetismus bei gleichem Gewicht
Waſſer	0gr.,14	100	100
Alkohol I (0,813)	0,13	93	114
Alkohol II (0,851) . . .	0,17	122,5	143
Schwefeläther	0,13	93	127
Schwefelkohlenſtoff	0,18	129	102
Schwefelſäure	0,09	64	34
Salzſäure	0,16	114	102
Salpeterſäure	0,10	71	48
Geſchlagenes Ochſenblut . .	0,17	122,5	—
Geſättigte Löſung von gelbem Blutlaugenſalz	0,12	86	70
Gereinigtes Kochſalz, gepulvert	0,13	—	79
Wismuthoxyd, gepulvert . .	0,06	—	35
Schwefelblüthe	0,10	—	71
Terpentinöl	0,15	107	123
Queckſilber	0,44	314	23
Phosphor	0,245	1,72	100

Die magnetiſche und diamagnetiſche Eigenſchaft von Flüſſigkeiten läßt ſich nach Plücker*) auch an einer eigenthümlichen Geſtaltsveränderung erkennen, wenn dieſelben unter den gehörigen Umſtänden der Einwirkung der Magnetpole ausgeſetzt ſind. Ein Uhrglas, aus einer Kugel geſchnitten, wurde auf die beiden Halbanker ſo geſetzt, daß es dieſe in denjenigen Punkten berührte, deren Entfernung die kleinſte war, und dann in daſſelbe die Flüſſigkeit gebracht. War dieſe eine magnetiſche, z. B. eine Auflöſung von Eiſenchlorid in Waſſer, ſo nahm dieſelbe bei einem gewiſſen Abſtand der beiden Halbanker, ſtatt des ſonſtigen kreisförmigen Umfanges eine ſolche Form an, daß ſie, von oben geſehen, ſich von einer faſt geometriſch genauen Ellipſe begrenzt darſtellte, deren kleine Axe in die durch die Axe der beiden Hufeiſenſchenkel gehende Ebene fiel, während deren große Axe in der auf der vorigen ſenkrecht ſtehenden Aequatorialebene lag. Die Flüſſigkeit drängte ſich in dieſe Ebene, in derſelben einen Bergrücken bildend, deſſen Kamm durch eine Curve gebildet wurde, die ſich in der Mitte faſt zu einer geraden Linie abflachte, und an den Enden, ihre Converität ändernd, ſich raſch zum Glaſe herabſenkte. Eine diamagnetiſche Flüſſigkeit dehnte ſich dagegen nach der axialen Lage aus, während ſie ſich nach der äquatorialen zuſammenzog. Oberhalb der Mitte zwiſchen den beiden Halbankern bildete ſich ſtatt des Bergrückens ein in der Aequatorialebene ſich hinziehendes Thal. Blut iſt eine diamagnetiſche Flüſſigkeit. Bei demſelben war unter dem Mikroſkop neben einer Abſtoßung der ganzen Flüſſigkeitsmaſſe noch eine beſondere Abſtoßung der Blutkügelchen wahrzunehmen. Aehnlich verhielt ſich die Milch mit ihren kleinen Fettkügelchen.

*) Vergl. Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 567.

Faraday hielt anfänglich die gasartigen Körper für indifferent bezüglich der Einwirkung des Magnetismus, bis Bancalari und Zantedeschi die diamagnetische Abstoßung der Flammen, welche größtentheils aus erhitzten Gasen bestehen, nachwiesen*). Dies wurde alsdann von Faraday**) und Plücker***) nicht allein für die Flammen, sondern auch für die Gase überhaupt bestätigt. Wenn man die Flamme eines Kerzenlichtes oder des Weingeistes zwischen die Polspitzen des Elektromagnets bringt, so wird sie durch die Wirkung des Magnetismus comprimirt, und es findet in Folge der Abstoßung der Flammentheile eine Abweichung derselben von der Verbindungslinie der beiden Magnetpole (der axialen Linie) statt. Als die Flamme in einer gewissen Höhe zwischen den Polen stand, nahm sie die Gestalt eines quer gegen die axiale Linie gestellten Fischschwanzes an, und als die Wirkung ihr Maximum erreichte, bog sich die Spitze zuletzt herab, und breitete sich rechts und links von der axialen Linie aus, eine Doppelflamme mit zwei langen Zungen bildend. — Wenn ein nußgroßer Ball von Baumwolle auf einen Draht gesteckt, mit Aether getränkt und angezündet wird, so giebt er eine Flamme von sechs bis sieben Zoll Höhe. Diese große Flamme stieg ungehindert zwischen den Polen in die Höhe; so wie aber der Magnet in Thätigkeit gesetzt wurde, theilte sie sich in zwei Flammen, die eine auf dieser, die andere auf jener Seite der axialen Linie. Gefärbte Gasarten, wie salpetrige Säure, Brom- und Joddämpfe bieten ähnliche Erscheinungen dar, wie auch der aufsteigende Rauch eines brennenden Räucherkerzchens, das unter den Halbankern aufgestellt ist. Zur Untersuchung farbloser Gase benutzte Faraday offene Röhren aus dünnem Glase, die auf kleinen Gestellen so befestigt waren, daß sie nach Belieben entweder über oder unter den Magnetpolen angebracht werden konnten. Wenn sie über den Polen waren, wurden deren gewöhnlich drei, eine über der axialen Linie und eine an jeder Seite derselben, genommen. Das auf besondere Weise zu den Magnetpolen geführte Gas enthielt etwas Salzsäure, doch nicht so viel, daß es sichtbar wurde. Um sichtbar zu machen, durch welche der Glasröhren es ging, wurde ein Stückchen Fließpapier, zusammengefaltet und an einem Kupferdrahte befestigt, in Ammoniakflüssigkeit getaucht und über jeder der Röhren aufgehängt. Durch den sichtbaren Rauch, der sich über der einen oder anderen Röhre bildete, war nun sogleich klar, ob und durch welche Röhre das von unten her eingeleitete Gas in die Höhe stieg, während das Gas an dem Orte der magnetischen Action vollkommen klar blieb. So ließ sich der Weg erkennen, welchen die Gastheilchen in Folge der Einwirkung der Magnetpole einschlagen mußten. Um die Luft vor störenden Bewegungen zu schützen, war um die Pole und das magnetische Feld eine schirmende Kammer aus dünnen Glimmertafeln erbaut. Der Wasserstoff erwies sich nun als stark diamagnetisch, eben so auch, aber in abnehmendem Grade, alle übrigen untersuchten Gase. Der Diamagnetismus des Stickstoffs, wie auch der atmosphärischen Luft erschien schwach, konnte aber durch Erhitzen merklich erhöht werden. Der Sauerstoff, welchen Faraday anfänglich als das am wenigsten diamagnetische Gas bezeichnete, wurde später von ihm und Plücker als magnetisch erkannt, so daß derselbe also von den Magnetpolen eine Anziehung erfährt. Sauerstoff

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 286.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 256. Philos. Magaz. Ser. III. Vol. XXXI. p. 90.
***) Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 349.

erſcheint nach Faraday etwa ſo ſtark magnetiſch als ein gleiches Volumen Waſſer, welches das Siebzehnfache ſeines (des Sauerſtoffs) Gewichtes an Eiſenvitriol gelöſt enthält. Andere hierher gehörige Verſuche wurden mit Seifenblaſen angeſtellt, welche mit verſchiedenen Gaſen angefüllt der Wirkung des Magnets ausgeſetzt und dann angezogen oder abgeſtoßen wurden, je nach der Natur der Gaſe und nach der Natur des umgebenden Mediums. Faraday *) verſah auch einen Hebel, der horizontal an einem Seidenfaden ſchwebte, an einem Ende mit einem horizontalen Querſtab, und hing an den Enden dieſes letztern zwei Glasblaſen auf, von denen jede mit einem beſonderen Gaſe gefüllt war. Die Glasblaſen befanden ſich $1^1/_2$ Zoll von einander, vor einem auf ihrer Mittellinie liegenden cylindriſchen Magnetſtabe, der nun, ſo wie er erregt wurde, den relativen Magnetismus und Diamagnetismus der beiden Gaſe anzeigte, indem er die eine oder andere in die axiale Lage zog. Die mit Sauerſtoff gefüllte Blaſe wurde immer angezogen. Auch wurde in einer der Blaſen das Gas in mehr oder weniger verdünntem Zuſtande angewandt. Sauerſtoff von gewöhnlicher Dichte wurde gegen verdünnten Sauerſtoff immer angezogen, war alſo ſtets magnetiſcher als letzterer. Höchſt verdünnter Sauerſtoff hielt Stickſtoff das Gleichgewicht. Stickſtoff und andere Gaſe (ausgenommen ölbildendes Gas und Cyan) zeigten dagegen bei jeder Verdünnung dieſelbe Kraft. Bei höchſter Verdünnung durch die Luftpumpe verhielten ſich alle Gaſe gleich, ſelbſt Sauerſtoff.

Was den Einfluß der Temperatur betrifft, ſo wird wohl der Diamagnetismus der Gaſe durch Erhöhung derſelben verſtärkt, während der Diamagnetismus ſtarrer Körper nach Plücker's **) Unterſuchungen eben ſo wie der Magnetismus mit wachſender Temperatur abnimmt.

Was den Einfluß der Umgebung eines Körpers auf die Anziehung oder Abſtoßung betrifft, die er durch einen Magneten erfährt, ſo kam Plücker ***) zu den folgenden allgemeinen Reſultaten. Die Anziehung eines magnetiſchen Körpers, der in eine magnetiſche oder diamagnetiſche Flüſſigkeit eingetaucht wird, nimmt gerade um ſo viel ab oder zu, als die magnetiſche Anziehung oder diamagnetiſche Abſtoßung der aus der Stelle getriebenen Flüſſigkeit vor dem Eintauchen betrug. Die Abſtoßung eines in dieſelbe Flüſſigkeit eingetauchten diamagnetiſchen Körpers nimmt umgekehrt gerade um ſo viel zu oder ab, als die magnetiſche Anziehung oder diamagnetiſche Abſtoßung der aus der Stelle getriebenen Flüſſigkeit betrug. Wenn alſo der eingetauchte Körper ſowohl als auch die Flüſſigkeit, beide magnetiſch oder beide diamagnetiſch ſind, die Flüſſigkeit aber jedesmal ſtärker als der eingetauchte Körper, ſo geht einmal die magnetiſche Anziehung dieſes letzteren in diamagnetiſche Abſtoßung, das andere Mal dieſe in jene über.

Ein beſonderes Verhalten zeigen Kryſtalle, wenn ſie an einem Coconfaden zweckmäßig befeſtigt, zwiſchen die Pole des Magnets gebracht werden. So fand Plücker ****), daß optiſch einaxige Kryſtalle eine ſolche Einwirkung erfahren, daß die Axe das Beſtreben erhält, ſich äquatorial zwiſchen die Magnetpole zu ſtellen, als ob dieſe Axe von jedem der beiden Pole abgeſtoßen würde. Wenn

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 327 ff.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXV. S. 177.
***) Pogg. Ann. Bd. LXXVII. S. 578.
****) Pogg. Ann. Bd. LXXII. S. 315.

der Krystall zwei optische Axen hat, so wird jede dieser beiden Axen von jedem der beiden Pole mit derselben Kraft abgestoßen. Ein rasch abgekühlter Glascylinder verhielt sich zwischen den Magnetpolen wie ein einaxiger Krystall, wie eine Turmalinsäule z. B., wobei die Axe des Cylinders die Stelle der optischen Axe einnahm *). Faraday **) entdeckte aber, daß verschiedene Krystalle mit vorherrschender Spaltungsrichtung, wie Wismuth, Arsen ꝛc., zwischen den Magnetpolen sich so zu stellen streben, daß die Spaltungsrichtung die äquatoriale Lage erhält. Die auf dieser Richtung winkelrecht stehende Linie, welche Faraday Magnokrystallaxe nennt, stellt sich von Pol zu Pol, also axial. Und hieran reiht sich eine Wahrnehmung Plücker's ***), nach welcher geschmolzenes Wismuth, das zwischen den Magnetpolen erstarrte, so anschoß, daß die vorherrschende Spaltungsrichtung senkrecht auf der Verbindungslinie der Magnetpole oder senkrecht auf der axialen Linie stand. Der Magnetismus wirkt hiernach auf die Krystallisation des erstarrenden Wismuths in der Art, daß es bestimmt wird, den Ebenen der vollkommenen Spaltbarkeit die äquatoriale Lage zu geben.

Plücker ****) wurde durch weitere Versuche zu der Aufstellung des Gesetzes veranlaßt, daß die optische Axe bei negativen Krystallen von den Magnetpolen abgestoßen, bei positiven dagegen von denselben angezogen werde. Plücker †) sah hierin eine neue Kraft, welche, unabhängig von der magnetischen oder diamagnetischen Beschaffenheit der Substanz, sich bei den optisch negativen Krystallen in der Form einer Abstoßung, bei positiven als eine Anziehung darstelle, und mit der Entfernung von den Magnetpolen langsamer abnehme, als die von diesen Polen aus auf die Krystalle wirkenden magnetischen oder diamagnetischen Kräfte.

Knoblauch und Tyndall wiederholten die Versuche Plücker's prüfend ††) und operirten zunächst mit eilf Kalkspathkrystallen, aus denen kreisförmige Scheiben so geschliffen waren, daß die optische Axe in ihrer Ebene lag. Unter diesen eilf Krystallen fanden sich fünf, bei denen die optische Axe zwischen den Magnetpolen eine äquatoriale Lage annahm, während sie sich bei den sechs anderen entschieden von Pol zu Pol stellte. Die Beziehung zwischen der jedesmaligen Stellung des Krystalls und seiner Structur zeigte sich darin, daß jene fünf Krystalle sich mit ihren Spaltungsrichtungen von Pol zu Pol, die sechs übrigen dagegen mit diesen Richtungen in die äquatoriale Lage zu stellen suchten. Um bei jedem dieser eilf Krystalle zu erfahren, ob seine Masse magnetisch oder diamagnetisch sei, wurde jedes der zu prüfenden Exemplare mittelst eines Achatmörsers in Pulver verwandelt, dasselbe mit destillirtem Wasser geschlemmt und aus der fein vertheilten Masse cylindrische Stäbchen formirt, welche getrocknet durch ihre Stellung zwischen den Magnetpolen ihren magnetischen oder diamagnetischen Zustand verrathen mußten, insofern bei ihnen der Einfluß der krystallinischen Structur vernichtet war. Die erwähnten fünf Kalkspathe richteten sich in dieser Form zwischen den Magnetpolen aufgehängt, wie Stäbe von amorpher chemisch reiner

*) Pogg. Ann. Bd. LXXV. S. 108.
**) Philos. Magaz. 1849. Jan. p. 73. Pogg. Ann. Bd. LXXVI. S. 144.
***) Pogg. Ann. Bd. LXXVI. S. 576.
****) Pogg. Ann. Bd. LXXVII. S. 447.
†) Vergl. auch Pogg. Ann. Bd. LXXII. S. 313. 342.
††) Pogg. Ann. Bd. LXXIX. S. 233.

kohlenſaurer Kalkerde, äquatorial, die ſechs anderen Exemplare dagegen, unter ſonſt gleichen Umſtänden, axial. Jene waren alſo diamagnetiſch, dieſe magnetiſch. Dies beſtätigte ſich auch dadurch, daß Kryſtallſtücke in irgend einer Geſtalt vor einem einzigen Pole eines ſtarken Elektromagnets aufgehängt, ihrer ganzen Maſſe nach abgeſtoßen wurden, wenn ſie von jenen fünf genommen waren, hingegen angezogen wurden, wenn ſie einem der ſechs angehörten. Die chemiſche Analyſe ließ ſchließen, daß der Magnetismus dieſer letzteren Kalkſpathe von einer gewiſſen Quantität kohlenſauren Eiſenoxyduls herrührte, das iſomorph mit dem kohlenſauren Kalk in den Kryſtallen enthalten war. Es wurde nun geſchloſſen, daß das Beſtreben der fünf diamagnetiſchen Kalkſpathe, ſich mit der Spaltungsrichtung von Pol zu Pol zu ſtellen, nicht einem in dieſer Richtung vorherrſchenden Magnetismus zuzuſchreiben ſei, ſondern vielmehr einer Verminderung des Diamagnetismus in dieſem Sinne. Und in entſprechender Weiſe mußte man das Beſtreben der ſechs übrigen Kryſtalle, ſich mit den Spaltungsflächen äquatorial zu richten, da ſie ſich magnetiſch erwieſen hatten, für eine Folge des im Sinne dieſer Flächen geſchwächten Magnetismus halten. Zur Beſtätigung dieſer Anſicht wurde mit Elfenbein experimentirt, welches diamagnetiſch und zwar in einer gewiſſen Richtung in geringerem Grade als nach anderen iſt. Wurden nun zwei Elfenbeinplatten ſo über einander gelegt, daß die Richtungen ihres ſchwächeren Diamagnetismus unter einander denſelben ſpitzen Winkel wie die Spaltungsrichtungen in einem Kalkſpathſtreifen bildeten, der die lange Diagonale des Rhombus enthielt, und wurde alsdann dem Elfenbein dieſelbe äußere Form wie dem Streifen gegeben, ſo richtete ſich dieſes Stück, wie der diamagnetiſche Kalkſpath ſelbſt, axial. Die Halbirungslinie des ſpitzen Winkels jener Richtungen ſtand von Pol zu Pol. Schloſſen dagegen, bei anderen Elfenbeinplatten, jene Richtungen des ſchwächeren Diamagnetismus denſelben ſtumpfen Winkel ein wie die Spaltungsrichtungen in einem, nach der kurzen Diagonale geſchnittenen Kalkſpath, ſo ſtellte ſich das Elfenbeinſtäbchen, dem wieder eine gleiche Geſtalt mit dem Kryſtall gegeben war, wie dieſer, äquatorial. Eben ſo ließen ſich alle an den magnetiſchen Kryſtallen wahrgenommenen Erſcheinungen künſtlich mittelſt Guttapercha hervorbringen, die als magnetiſch und zugleich in einer Richtung als ſchwächer magnetiſch erkannt worden war. Das Hauptreſultat iſt, daß ſich beim Kalkſpath alle beobachteten Erſcheinungen darauf zurückführen laſſen, daß die diamagnetiſchen Exemplare in der Spaltungsrichtung ſchwächer diamagnetiſch, die magnetiſchen in jener Richtung ſchwächer magnetiſch ſind.

Wird aus dem feinen Pulver eines rein diamagnetiſchen Körpers, z. B. Mehl, deſſen Theilchen leicht an einander haften, wenn ihm eine Spur von Gummi-Waſſer beigemengt iſt, ein kleiner vierkantiger Stab gebildet, ſo ſtellt ſich dieſer, horizontal zwiſchen den Magnetpolen aufgehängt, der Erwartung gemäß äquatorial. Drückt man ihn aber in der Richtung ſeiner größeren Ausdehnung ſo weit zuſammen, daß das Parallelopipedon in einen Würfel übergeht, ſo ſtellt ſich dieſer zwiſchen den Polen ſo ein, daß die Richtung, in welcher die Zuſammendrückung ſtattgefunden hat, die äquatoriale Lage annimmt. Dies iſt ſelbſt dann noch der Fall, wenn die Zuſammendrückung in demſelben Sinne wie zuvor, ſo weit fortgeſetzt worden, daß aus dem Würfel eine dünne Platte entſtanden iſt. Hier iſt nun die diamagnetiſche Wirkung in derjenigen Richtung, in welcher die materiellen Theile des Körpers durch das Preſſen einander näher gerückt worden ſind,

größer geworden. Deshalb ſucht ſich die Reihe der in dieſer Richtung liegenden Theilchen vorzugsweiſe von den Polen zu entfernen; ſo daß die Ebene der Scheibe ſich von Pol zu Pol ſtellt. Ein nicht comprimirter homogener Würfel aus derſelben Subſtanz zeigte keine richtende Kraft. — Wurde dem Mehl fein gepulvertes Eiſenoxydul, welches magnetiſch iſt, beigemiſcht, ſo ſtellte ſich ein aus dem Gemenge gebildeter Stab axial. Drückte man ihn aber auf die angegebene Weiſe zuſammen, ſo nahm die entſtehende Platte eine äquatoriale Lage an. Derſelbe Verſuch ließ ſich mit reinem kohlenſaurem Eiſenoxydul anſtellen. Dieſe Erſcheinung beruht darauf, daß die magnetiſche Wirkung in derjenigen Richtung, in welcher die Theile einander genähert wurden, verſtärkt worden iſt, und daß die überwiegende Anziehung in dieſem Sinne die bezeichnete Stellung der Scheibe bewirkt. Knoblauch und Tyndall ſchloſſen *) hieraus, daß überhaupt in diamagnetiſchen wie in magnetiſchen Körpern, deren Theile nicht nach allen Seiten hin gleich weit von einander abſtehen, die (diamagnetiſche oder magnetiſche) Wirkung, welche ſich an ihnen zwiſchen den Polen kund giebt, immer in der Richtung am ſtärkſten iſt, in welcher die materiellen Theile am nächſten bei einander ſind. Hierauf wurden noch einige Verſuche mit Rhomboëdern aus Pulvern von chemiſch reiner kohlenſaurer Kalkerde und Eiſenoxyd angeſtellt, welche in einem Schraubſtock nach einer Richtung ſtark zuſammengepreßt worden waren. Die Rhomboëder aus kohlenſaurem Kalk zeigten bei gehöriger Aufhängung zwiſchen parallelopipediſchen oder coniſchen, nahm wie fernen Polen dieſelben Erſcheinungen wie ein Kalkſpathkryſtall. Und die Stellungen eines künſtlichen Rhomboëders aus Eiſenoxyd waren identiſch mit denen eines Eiſenglanzrhomboëders.

Plücker **) fand, daß ein horizontal hängendes Prisma eines magnetiſchen Turmalins zwiſchen den nahen Polſpitzen eines Elektromagnets axial, zwiſchen fernen äquatorial gerichtet wurde. Im erſten Falle ſollte die magnetiſche Anziehung, im zweiten die eigenthümliche abſtoßende Wirkung der Magnetpole auf die Axenrichtung überwiegen. Knoblauch und Tyndall fanden nun, daß ein Stab aus einem magnetiſchen Pulver, deſſen Theile ſenkrecht auf ſeine Längendimenſion näher an einander gerückt ſind als in dieſer, ſich unter faſt gleichen Umſtänden eben ſo wie der Turmalin verhält. Eine Unterſuchung des magnetiſchen Feldes zwiſchen den Polen mittelſt Eiſenfeilſpähnen überzeugte ſie, daß eine ſehr ſtarke Wirkung in unmittelbarer Nähe der coniſchen Spitzen vorhanden iſt, daß dieſelbe aber außerordentlich ſchnell mit der Entfernung abnimmt. Kommt nun ein Theil, z. B. ein Ende des aufgehängten magnetiſchen, in den Bereich jener Wirkung, ſo wird er mit großer Kraft angezogen, und es ſtellt ſich deshalb der ganze Stab bei nahen Polen axial. Entfernt man aber die letzteren, ſo daß ihr überwiegender, localer Einfluß auf die Endpunkte des Körpers im Vergleiche mit dem auf ſeine Maſſe verſchwindet, ſo macht in dieſer die ungleiche Aggregation der Theilchen ſich geltend, und es treten die beſchriebenen Wirkungen ein: der magnetiſche Körper ſtellt ſich mit der Richtung, in welcher ſeine Theile am nächſten bei einander ſind, von Pol zu Pol, und richtet ſich alſo in

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXI. S. 481 ff.

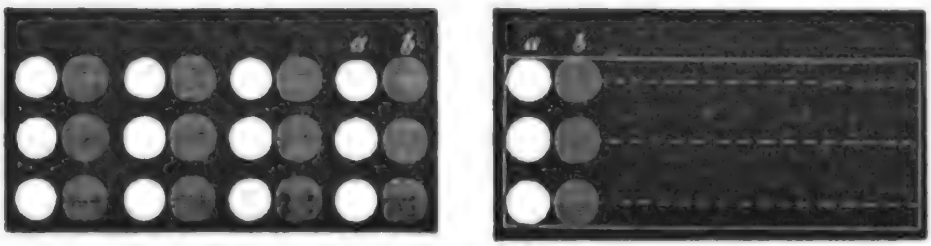
**) Pogg. Ann. Bd. LXXII. S. 315. 321. 342; Bd. LXXVI. S. 876. Vergl. auch Bd. LXXXI. S. 115 ff.

dem Falle, daß er magnetiſch iſt, mit ſeiner Längendimenſion äquatorial. Dies geſchah auch bei nahen parallelopipediſchen Polen, wenn das Turmalinprisma oder der Stab mitten zwiſchen ihnen aufgehängt wurde. Eine directe Unterſuchung des magnetiſchen Feldes (in obiger Weiſe) ergab, daß in dieſem Falle wie bei fernen Polen eine faſt gleichmäßige, nur verſtärkte, Wirkung auf den ganzen eingeſchalteten Körper ausgeübt wurde.

Verſchiedene von Plücker in Bezug auf ihr magnetiſches Verhalten näher unterſuchte Kryſtalle hat derſelbe *) in einer Tabelle zuſammengeſtellt.

Der Magnetismus übt auch auf die Richtung eines polariſirten Lichtſtrahles, der ein durchſichtiges Mittel durchdringt, einen beſtimmten Einfluß, welcher mit den beſprochenen diamagnetiſchen Erſcheinungen in nächſter Beziehung ſteht. Das Nähere hierüber wird man im Art. Polariſation des Lichts finden.

Wir wenden uns nun zur Theorie der magnetiſchen und diamagnetiſchen Erſcheinungen. Als weſentliches Merkmal der magnetiſchen Körper zeigten uns die betreffenden Thatſachen einen gewiſſen polaren Gegenſatz, der ſelbſt in den kleinſten Maſſentheilchen dieſer Körper als vorhanden angenommen werden muß. Es bietet ſich nun, ohne ſich auf weitere Hypotheſen einzulaſſen, zunächſt und ungezwungen (auf Grund des Thatſächlichen) der Gedanke dar, daß jener Gegenſatz der Materie als ſolcher weſentlich ſei, inſofern es möglich und ſogar wahrſcheinlich iſt, daß jeder Körper aus zwar einfachen, aber unter einander entgegengeſetzten Atomen conſtituirt iſt. Und dies fällt zuſammen mit der Vorſtellungsweiſe, nach welcher man ſich jedes kleinſte Maſſen- oder Körpertheilchen aus zwei entgegengeſetzten Hälften beſtehend denkt. Die magnetiſche Polarität erfordert aber noch eine beſondere Anordnung dieſer Theilchen in der Art, daß die ungleichnamigen Atome oder Hälften einander zugekehrt ſind, wie beiſtehende Figur zeigt, die einen linearen



Magneten in reinſter Form darſtellt. Im gewöhnlichen (unmagnetiſchen Zuſtande) ſind die ungleichartigen Elemente (Atome) ſo mit einander verbunden, daß ſie in einem gewiſſen Zuſtande der Indifferenz ſich befinden. Durch jede Urſache aber, welche den Maſſentheilchen die in der Figur angegebene Richtung verleihet, ſo daß die ungleichartigen Elemente nach einer beſtimmten Richtung alle einander zugekehrt ſind, wird der magnetiſche Zuſtand hervorgerufen. Hiermit iſt ein Auseinandertreten der ungleichartigen Elemente nach entgegengeſetzten Richtungen verbunden, wodurch ſie aus dem Zuſtande der Indifferenz heraustreten und bis zu einem gewiſſen Betrage freie Wirkſamkeit nach Außen erlangen. Je bedeutender dieſes Auseinandertreten iſt und je mehr dabei die ungleichartigen Elemente

*) Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 427.

einander zu-, die gleichartigen dagegen von einander abgekehrt werden, deſto ſtärker wird die magnetiſche Polarität hervortreten. Der magnetiſche Zuſtand iſt hiernach eine gewiſſe erzwungene Abweichung der Theilchen aus ihrer gewöhnlichen Gleichgewichtslage, in die ſie ſtets mehr oder weniger zurückzukehren ſtreben.

Befindet ſich nun ein Eiſenſtab in der Nähe des Magneten (ſ. obige Figur), ſo werden die Beſtandtheile b des letzteren die entgegengeſetzten Elemente a des erſteren anziehen, die gleichartigen hingegen zurückſtoßen, ſo daß demzufolge ein Beſtreben vom Magneten ausgeht, eine ihm entſprechende Anordnung der Maſſentheilchen im Eiſen herzuſtellen. Und dies iſt die ſogenannte magnetiſche Vertheilung. Es iſt aber nicht nöthig, eine unmittelbare Fernwirkung der magnetiſchen Theilchen auf die Beſtandtheile des Eiſens anzunehmen, ſondern man kann annehmen, daß die Wirkung jener Theilchen ſich vermittelſt des Aethers, deſſen Elemente man ſich aus anderweitigen Gründen um die Maſſentheilchen der Materie gruppirt denkt, fortpflanze. Die Wirkungen, welche von den Beſtandtheilen a und b des Magnets nach verſchiedenen Richtungen ausgehen, und ſtets mit einander fortlaufen, wollen wir „magnetiſche Kraftlinien" nennen. — Das Weſen der ſogenannten magnetiſchen Vertheilung beſteht alſo darin, daß der Magnet durch ſeine Kraftlinien den Beſtandtheilen des betreffenden Körpers eine ihm entſprechende Anordnung zu ertheilen ſtrebt. Dieſe Anordnung kann aber nur dadurch bewerkſtelligt werden, daß die Atome des der Vertheilung ausgeſetzten Körpers ihre gewöhnliche Gleichgewichtslage verlaſſen; ſie müſſen eine Bewegung (Drehung) vollziehen, die durch eine Erſchütterung des Körpers wohl jedenfalls begünſtigt werden kann. Da aber die Molecüle (Maſſentheilchen) des magnetiſirten Körpers ſtets in ihre gewöhnliche Lage zurückzukehren ſtreben, ſo erkennt man auch, daß dieſes Beſtreben (bei einem ſonſt ſich ſelbſt überlaſſenen Magneten) durch eine mechaniſche Einwirkung (Erſchütterung) in ſeinem Erfolg befördert werden kann, und in dem Maße als dies geſchieht, nimmt die Kraft des ſelbſtſtändigen Magneten ab. In ähnlicher Weiſe wirkt die Wärme, inſofern ſie die Beweglichkeit der Maſſentheilchen vermehrt. Es iſt hierüber, ſo wie über verſchiedenes andere hierher gehörige ſchon im Art. Elektromagnetismus (Bd. II. S. 817 ff.) die Rede geweſen, weshalb wir hier darauf verweiſen müſſen.

Wenn die Maſſentheilchen eines Körpers, etwa in Folge eines äußeren magnetiſchen Einfluſſes, die Lage, welche dem Magnetismus entſpricht, angenommen haben, ſo findet zwiſchen dieſen Theilchen ein gegenſeitiger Einfluß ſtatt, durch welchen die magnetiſche Polarität in ihnen verſtärkt wird. Die nebenſtehende Figur ſtelle eine Reihe magnetiſcher Maſſentheilchen vor, in denen die Polarität zunächſt gleich groß ſei, ſo daß die Atome a, b in allen in demſelben Grade nach entgegengeſetzten Richtungen aus einander getreten ſind. Es beſteht nun ein wechſelſeitiger Einfluß zwiſchen dem Maſſentheilchen I und allen folgenden, eben ſo zwiſchen II und den folgenden. Doch wird die Wirkung der letzteren auf II, wegen der geringeren Entfernung, etwas größer ſein als auf I. Betrachtet man die gegenſeitige Einwirkung zwiſchen I und II, ſo erkennt man, daß Abſtoßungen zwiſchen a und a_1 und zwiſchen b und b_1, ſtattfinden, und daneben Anziehungen zwiſchen a und b_1, und

zwiſchen b und a_1. Die letztere Anziehung iſt ſtärker als die erſtere, und eine Folge dieſer Wirkungen iſt es, daß ſowohl die Beſtandtheile a und b, als auch der Beſtandtheil a_1 und b_1 weiter aus einander treten, wodurch eine Steigerung der magnetiſchen Polarität in I und II bewirkt wird. Derſelbe wechſelſeitige Einfluß beſteht auch zwiſchen II und den folgenden, während II zugleich der Einwirkung von I ausgeſetzt iſt. Es wird darum die magnetiſche Polarität von II ſtärker als die von I ſich entwickeln. Von den Maſſentheilchen III, IV und V gilt im Weſentlichen daſſelbe wie von I und II. Die magnetiſche Polarität der einzelnen Maſſentheilchen nimmt von dem mittelſten Maſſentheilchen nach den Enden hin ab. Es werden aber die Kraftlinien von a_2 (in III) in die Kraftlinien von b_1 (in II) eingreifen und dieſelben vollſtändig binden, während jene, da das Uebergewicht auf ihrer Seite iſt, nur theilweiſe gebunden werden. Eben ſo iſt es zwiſchen a_1 und b, während die freie Wirkſamkeit von a (in I) ungeſchmälert bleibt. Betrachtet man aber die Reihe von dem Maſſentheilchen III nach der entgegengeſetzten Seite hin, ſo erſcheint das Uebergewicht auf Seiten der Elemente b, welche einestheils frei nach Außen wirken, anderntheils aber die Kraftlinien von a vollſtändig binden. Und dies geht ſo fort bis zum äußerſten Element b_4, das ſeine volle Wirkſamkeit nach Außen behält. Es werden alſo von der Mitte aus auf der einen Seite die Kraftlinien von a, auf der anderen hingegen die von b eine freie Wirkſamkeit üben, oder es wird, wie die Erfahrung lehrt, auf der einen Hälfte der ſogenannte Nord-, und auf der anderen der ſogenannte Südmagnetismus vorherrſchen. Obſchon alſo das magnetiſche Moment der einzelnen Maſſentheilchen von den beiden Enden der Reihe nach der Mitte hin zunimmt, ſo wird doch, da die Kraftlinien der einander zugekehrten ungleichartigen Beſtandtheile ſich in der angegebenen Weiſe binden, der freie Magnetismus in der Mitte verſchwindend klein ſein. Ein wirklicher Magnetſtab iſt nun ein Inbegriff ſolcher elementarer Magnete, und jeder Pol derſelben iſt der Punkt, durch welchen die Reſultirende aller gleichartigen magnetiſchen Kraftlinien hindurchgeht. Dieſer Punkt kann aber nicht an dem Ende ſelbſt, ſondern nur in einem gewiſſen Abſtande von demſelben liegen; denn jene Lage würde nur möglich ſein, wenn die gegenſeitige Bindung der ungleichartigen Kraftlinien auf jeder Hälfte des Magnets eine vollſtändige wäre.

Iſt ein Eiſenſtab der vertheilenden Wirkung eines Magnetpols ausgeſetzt, deſſen Entfernung gegen die Dimenſionen des Stabes ſehr groß iſt, ſo werden alle Maſſentheilchen längs des Stabes eine faſt gleiche ſtarke magnetiſche Einwirkung erleiden, und vermöge der Verſtärkung, welche die magnetiſche Polarität durch die beſprochene Wechſelwirkung der einzelnen Theilchen erfährt, wird der Stab an beiden Enden freien Magnetismus entgegengeſetzter Art und in der Mitte eine neutrale Zone zeigen. Wenn aber der magnetiſirende Einfluß (der Magnetpol) merklich näher rückt, ſo wirkt er natürlich auf die ihm zunächſt zugekehrten Maſſentheilchen des Stabes ſtärker als auf die entfernteren. Die dem Pole ungleichartigen Kraftlinien des Eiſens werden dann von ihm ſtärker gebunden, während die gleichartigen frei bleiben, und ſo erlangen die letzteren auf einer größeren Strecke des Stabes das Uebergewicht, oder, was daſſelbe heißt, die neutrale Zone rückt mehr dem Ende zu, welches dem vertheilenden Einfluſſe des Magnetpoles zunächſt ausgeſetzt iſt. Wenn endlich der Magnetpol mit dem einen Ende des Eiſenſtabes in unmittelbare Berührung kommt, ſo kann die vertheilende Wirkung des erſteren das volle Uebergewicht erlangen über die Verſtärkung, welche

aus der wechselseitigen Einwirkung der Massentheilchen hervorgeht und zur Folge hat, daß das größte magnetische Moment in den mittleren Theil des Stabes fällt.

Weil nun der Magnetpol auf die ihm zunächst liegenden Theilchen des Eisens stärker als auf die entfernteren wirkt, so erhalten die ersteren ein größeres magnetisches Moment als die letzteren. Und deshalb wird auch, wenn man vom berührenden Magnetpol nach der Mitte des Eisenstabes hingeht, der eine Bestandtheil b des vorhergehenden Massentheilchens das ungleichartige Element a_1 des folgenden Theilchens in seiner Wirkung neutralisiren, während jener Bestandtheil selbst noch einen gewissen Antheil freier Wirksamkeit behält. Da dies nun so fortgeht von einem Massentheilchen zum anderen, so können nur die dem anliegenden Magnetpol gleichartigen Magnetkraftlinien des Eisens frei nach Außen wirken, insofern die ungleichartigen Kraftlinien durch den Magnetpol vollständig gebunden sind. Der Eisenstab wird daher in diesem Falle seiner ganzen Länge nach freien Magnetismus von derselben Art zeigen wie der vertheilend wirkende Magnetpol.

Man legte früher der Erklärung der magnetischen Erscheinungen gewöhnlich die Vorstellung von zwei entgegengesetzten (magnetischen) Flüssigkeiten zu Grunde. Die Theilchen einer und derselben Flüssigkeit sollten sich gegenseitig abstoßen, dagegen die Theilchen der anderen Flüssigkeit anziehen. Es zeigte sich jedoch sehr bald, daß diese Annahme nur dann einigermaßen mit den Thatsachen bestehen könne, wenn man noch voraussetzte, daß diese Flüssigkeiten weder von einem Magneten auf das Eisen, noch auch von einem Massentheilchen auf das andere übergehen könnten. Es müßte eine Erschöpfung des Magneten eintreten, wenn dieser beim Magnetisiren des Eisens etwas von seinen Flüssigkeiten an das letztere abgäbe. Dagegen verliert ein Magnet bekanntlich nicht das Geringste an Kraft, wenn man ihn mit beliebig großen Eisenstücken in Berührung läßt. Die Meinung aber, daß an dem einen Pol vorzugsweise die eine, an dem anderen vorzugsweise die zweite Flüssigkeit angehäuft sei, ist ganz zu verwerfen, weil jede Hälfte eines Magnets wieder einen vollständigen Magneten darstellt, wenn man ihn wirklich theilt. Da nun ein Eisenstab, so lange er unter dem Einflusse eines Magneten steht, zwei Pole und eine Indifferenzlinie zeigt, so müssen in ihm selbst beide Flüssigkeiten vorhanden sein. Derselbe könnte aber im Grunde nur eine Flüssigkeit enthalten, wenn während der Einwirkung des Magnets wirklich etwas von diesem auf das Eisen übergegangen wäre. Jedes Massentheilchen eines Magnets erscheint polarisch; deshalb müssen beide Flüssigkeiten in jedem Massentheilchen nach entgegengesetzten Richtungen von einander geschieden sein, dergestalt, daß das gleichartige Fluidum in allen Theilchen nach derselben Seite hin gekehrt ist. Und hiernach kann freilich an dem einen Ende nur das eine, an dem zweiten nur das andere Fluidum vorhanden sein. Beide Flüssigkeiten, die im gewöhnlichen Stahl und Eisen, und zwar in jedem Molecül desselben, mit einander (zur Indifferenz) verbunden sind, werden dann durch die Einwirkung eines Magnets so von einander geschieden, wie dies im letzteren schon geschehen ist. So gefaßt wird die Annahme zweier entgegengesetzter (magnetischer) Flüssigkeiten innerhalb gewisser Grenzen zu denselben Resultaten führen, wie unsere oben aufgestellte Ansicht, obwohl die letztere außerdem, wie ich glaube, besser dem Detail der Thatsachen entspricht, und zugleich naturgemäßer erscheint. Die magnetischen Fundamentalerscheinungen weisen eigentlich nur auf einen polaren Zustand der kleinsten Massentheilchen hin,

der wahrscheinlich in der Constitution der letzteren ursprünglich begründet ist. Jede Art von Materie kann dann das magnetische Princip, oder die Bedingung zum Entstehen des Magnetismus in sich enthalten. Soll aber die magnetische Polarität wirklich hervortreten, so ist noch die besondere, bereits angegebene Anordnung der Bestandtheile der Massentheilchen erforderlich, und viele Körper können blos deshalb unmagnetisch erscheinen, weil diese Anordnung sich unter den gewöhnlichen Umständen nicht herstellen läßt.

Die elektrischen Erscheinungen weisen dagegen entschiedener auf ein besonderes Fluidum hin, das nicht blos an die Atome gebunden ist, sondern auch von einem Atom (der Materie) zum anderen übergehen kann. Alle elektrischen Erscheinungen lassen sich zurückführen auf eine gewisse Anordnung und auf gewisse Bewegungsverhältnisse der unter sich gleichartigen Elemente dieses Fluidums (Elektricums), welche unter gewöhnlichen Umständen die Massentheilchen der Materie sphärenartig einhüllen *). Geht die Elektricität in der Form eines Stromes durch die Masse eines Körpers, so kann sie den ungleichartigen Bestandtheilen desselben eine bestimmte Richtung und Anordnung verleihen, und dieselben damit aus dem Zustande chemischer Indifferenz erwecken, so daß sie in der Form des Magnetismus nach Außen wirken **). Hiernach stellt ein von der Elektricität durchströmter Leiter einen Magneten dar, insofern die ungleichartigen Bestandtheile seiner Massentheilchen durch die Einwirkung der bewegten Elektricität nach bestimmten Richtungen auseinandertreten. Hat nun der Schließungsdraht einer galvanischen Kette oder Säule die Form einer Spirale, in welcher sich ein Eisenstab befindet, so werden die polarisirten Massentheilchen des ersteren direct auf die Massentheilchen des Eisens wirken und den letzteren eine entsprechende Anordnung zu ertheilen streben, wodurch dann das Eisen selbst, so weit dieses Bestreben Erfolg hat, magnetisch wird.

Wenn ein Körper in den Wirkungskreis eines Magnetpols geräth, so werden die Magnetkraftlinien, welche von dem letzteren ausgehen, den Massentheilen dieses Körpers eine solche Anordnung zu geben suchen, wie es das Gesetz der magnetischen Vertheilung verlangt. Dabei werden aber die Sphären, welche das Elektricum um die Massentheilchen des Körpers gebildet hat, nicht in Ruhe verharren können; sie werden aus ihrer Gleichgewichtslage verschoben, und die Elemente des Elektricums gehen von einem Massentheilchen zum anderen über, falls der Körper einen in sich geschlossenen Leiter darstellt. Die Elektricität tritt also in diesem Körper unter dem Einflusse des Magnetpols in der Form eines elektrischen Stromes auf, der indessen wieder verschwindet, sobald die Elemente des Elektricums in einen neuen Gleichgewichtszustand eingetreten sind. Dieser neue Gleichgewichtszustand erhält sich aber nur so lange, als der Einfluß des ruhenden Magnetismus dauert. Wird der magnetische Einfluß gesteigert, so entsteht eine abermalige Verschiebung (und Bewegung) des Elektricums in demselben Sinne. Wird aber der magnetische Einfluß schwächer oder ganz entfernt, so kehren die elektrischen Elemente theilweise oder ganz in ihre anfängliche Gleichgewichtslage zurück, und zwar natürlicher Weise in einer Richtung, welche derjenigen entgegen-

*) Vergl. Art. Elektricität, Galvanismus ꝛc.
**) Art. Elektromagnetismus. Bd. II. S. 819 ff.

geſetzt iſt, in welcher ſie dieſe Gleichgewichtslage verlaſſen haben. Durch das Entſtehen und Verſchwinden des Magnetismus in der Nachbarſchaft eines Körpers entſtehen alſo in dieſem elektriſche Ströme von entgegengeſetzten Richtungen. Und ganz daſſelbe findet ſtatt, wenn man den Pol eines Magneten einem Körper nähert und ihn dann wieder von demſelben entfernt. Während der Annäherung des Magnetpols entſteht nämlich im Körper ein elektriſcher Strom, der ſich bei der Entfernung deſſelben in den entgegengeſetzten verwandelt. Dieſe durch die Wirkung des Magnetismus erweckten Ströme ſind nun eben die ſogenannten Inductionsſtröme. Man unterſcheidet aber noch von den elektriſchen Strömen, welche durch den gewöhnlichen Magnetismus hervorgebracht und deshalb magnetelektriſche Ströme genannt werden, ſolche, welche ein von der Elektricität durchfloſſener Leiter in einem anderen geſchloſſenen Leiter hervorbringt. Bei der Annäherung und Entfernung dieſer beiden Leiter entſtehen ebenfalls zwei Ströme von entgegengeſetzten Richtungen. Und dieſe Art von Induction elektriſcher Ströme nennt man die Volta-Induction*). Da aber ein von der Elektricität durchſtrömter Leiter magnetiſch polar iſt, ſo kann derſelbe in ganz ähnlicher Weiſe wie ein gewöhnlicher Magnet in einem benachbarten Leiter das elektriſche Gleichgewicht ſtören und dadurch elektriſche Ströme veranlaſſen.

So lange nun der Inductionsſtrom in einem Körper dauert, wird derſelbe auch ſeine Wirkung auf die Maſſentheilchen des Körpers ausüben, deren ungleichartige Beſtandtheile je nach der Richtung des Stromes in beſtimmter Ordnung aus einander treten und dadurch magnetiſch polar werden. Demgemäß wird auch eine beſtimmte magnetiſche Wechſelwirkung zwiſchen dem inducirenden und dem der Induction unterworfenen Körper ſtattfinden. Die polariſirten Maſſentheilchen eines Magnets ſtreben (mittelſt ihrer Magnetkraftlinien) den Maſſentheilchen eines benachbarten Körpers eine dem Magneten entſprechende Anordnung zu ertheilen, indem die ungleichartigen Beſtandtheile des Körpers angezogen, die gleichartigen dagegen zurückgeſtoßen werden. Hat nun dieſes Beſtreben Erfolg, ſo entſteht in dem Körper dem Magnetpol gegenüber allemal der ungleichnamige Pol und es wird dann zwiſchen beiden eine Anziehung ſtattfinden. Dies iſt der Vorgang der gewöhnlichen magnetiſchen Vertheilung. Da aber durch die Wirkung der Magnetkraftlinien zugleich die Elemente des Elektricums, welche um die Maſſentheilchen des betreffenden Körpers gruppirt ſind, aus ihrer Gleichgewichtslage verſchoben werden, und hierdurch ein elektriſcher Strom entſteht, welcher den Maſſentheilchen des Körpers ebenfalls magnetiſche Polarität verleiht; ſo kann die Richtung dieſes zunächſt auftretenden elektriſchen Inductionsſtromes von der Art ſein, daß die von ihm bewirkte Anordnung der Maſſentheilchen die entgegengeſetzte von jener iſt, welche durch die directe Wirkung der magnetiſchen Kraftlinien angeſtrebt wird. Hat nun die letztere das Uebergewicht, oder iſt die Gruppirung der kleinſten Maſſentheilchen in einem Körper ſo beſchaffen, daß die ungleichartigen Beſtandtheile deſſelben leicht eine den Magnetpolen entſprechende Anordnung gewinnen können, ſo erſcheint dieſer Körper magnetiſch in gewöhnlichem Sinne. Iſt dagegen das Uebergewicht auf Seiten des gleichzeitig aufgeregten elektriſchen Stromes, ſo tritt die von dieſem bewirkte Anordnung der

*) Art. Induction, elektriſche. Bd. IV. S. 8 ff.

Maſſentheilchen entſchiedener hervor, ſo daß dann im Körper dem betreffenden Magnetpol gegenüber ein gleichnamiger Pol entſteht. Es wird alſo zwiſchen beiden eine Abſtoßung ſtattfinden, wie dies auch meiſt geſchieht, wenn ein leicht beweglicher Körper in die Nähe eines ſtarken Magnetpols gebracht wird. Solche Körper nun, welche auf dieſe Weiſe (durch den von den Magnetkraftlinien angeregten elektriſchen Strom) magnetiſch polar werden, ſind die ſogenannten diamagnetiſchen Körper. Die gewöhnlichen Inductionsſtröme würden hiernach zur Erklärung der diamagnetiſchen Erſcheinungen vollkommen ausreichen, wenn ſie nicht momentan wieder verſchwänden, während doch die diamagnetiſche Ablenkung dauernd iſt, ſo lange der betreffende Körper unter dem Einfluſſe des Magnets ſteht. W. Weber *) nimmt deshalb zur Erklärung dieſer Erſcheinungen inducirte elektriſche Molecularſtröme an, welche um die einzelnen Molecüle (Maſſentheilchen) ſtattfinden und ungeſchwächt fortdauern ſollen, während die in größeren Kreiſen ſich bewegenden elektriſchen Inductionsſtröme beim Vorübergehen an den Molecülen des Leiters ihre lebendige Kraft ſchnell verlieren und daher in ſehr kurzer Zeit zur Ruhe gelangen. Solche Molecularſtröme ſind auch nach unſerer Theorie ſehr wohl zuläſſig. Wenn die elektriſchen Sphären der Maſſentheilchen eines Körpers durch die Kraftlinien eines Magnetpols nach einer gewiſſen Seite hin verſchoben werden, ſo können dieſelben dadurch auch zu einer Drehung um die Maſſentheilchen, ihre Centralpunkte, veranlaßt werden. Durch dieſe drehende Bewegung des Elektricums kann aber den Beſtandtheilen der Molecüle eben wohl Richtung und Polarität verliehen werden, und zwar in demſelben Sinne, als durch das in größeren Kreiſen ſtrömende Elektricum, falls nur die Bewegungsrichtung im Allgemeinen dieſelbe iſt. Während alſo ein Theil der elektriſchen Elemente von einem Molecül zum anderen übergeht und den gewöhnlichen Inductionsſtrom bildet, der bald zur Ruhe gelangt, geräth gleichzeitig der andere Theil in eine länger andauernde Drehung um die Molecüle ſelbſt, wodurch die diamagnetiſchen Erſcheinungen bedingt werden. Bei einem ſchlechten Leiter der Elektricität aber, um deſſen Molecüle die elektriſchen Elemente beharrlicher gruppirt ſind, iſt der Uebergang der letzteren von einem Molecül zum anderen erſchwert, und hier iſt es möglich, daß die elektriſchen Sphären blos in eine Rotationsbewegung gerathen, indem ſie gewiſſermaßen von zwei Kräften angeregt ſind, nämlich von einer tangentialen, welche von den magnetiſchen Kraftlinien herrührt, und von einer centralen, in Folge der Anziehung zwiſchen den Molecülen des Körpers und den Elementen des Elektricums, vermöge deren die letzteren in ihre Gleichgewichtslage zurückzukehren ſtreben.

Nach unſerer Theorie bringen alſo die magnetiſchen Kraftlinien, welche von den Polen eines Magnets ausgehen, eine Störung in den elektriſchen Sphären der Maſſentheilchen hervor, während ſie den Beſtandtheilen der letzteren eine dem Magneten entſprechende Anordnung zu geben ſuchen. Indem nun das zur Bewegung angeregte oder bewegte Elektricum ſeinerſeits den Maſſentheilchen eine beſtimmte Richtung zu ertheilen ſucht, die bezüglich der Inductions- und diamagnetiſchen Erſcheinungen die entgegengeſetzte von derjenigen iſt, welche die Magnetkraftlinien direct den Beſtandtheilen der Molecüle zu geben ſtreben, wird dadurch

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 241.

mittelbar ein gewiſſer Gegenſatz zwiſchen den Wirkungen des Magnetismus und der Elektricität hervorgerufen.

Die eben betrachteten elektriſchen Molecularſtröme haben indeſſen bei Weber eine andere Bedeutung. Derſelbe verwendet ſie im Sinne der Ampère'ſchen Theorie zu der Erklärung der diamagnetiſchen Erſcheinungen. In dieſer Theorie (Art. Elektromagnetismus Bd. II. S. 812) werden bekanntlich die magnetiſchen Erſcheinungen auf die directe Wechſelwirkung elektriſcher Ströme zurückgeführt, welche die Maſſentheilchen der magnetiſchen Körper in beſtimmter Richtung umkreiſen. In den Körpern, welche der gewöhnlichen magnetiſchen Vertheilung fähig ſind, z. B. im Eiſen, werden die ſchon vorhandenen Molecularſtröme durch die Wirkung eines Magnetpols einander parallel und den Molecularſtrömen des Magnets mehr oder weniger gleich gerichtet, woraus dann Anziehung folgt. Dagegen ſollen in den ſogenannten diamagnetiſchen Körpern durch den Magnetpol beharrliche Molecularſtröme inducirt werden, welche im Vergleich mit den inducirenden Strömen des Magnets entgegengeſetzte Richtung haben, ſo daß dann die diamagnetiſche Abſtoßung aus der Wechſelwirkung entgegengeſetzter elektriſcher Ströme hervorgeht. Da dieſe inducirten Molecularſtröme aber der anziehenden und abſtoßenden Wirkung der Molecularſtröme des Magnets unterliegen, ſo müſſen ſie auch vermöge dieſes Einfluſſes mit den Molecularſtrömen des Magnets gleiche Richtung annehmen, was den magnetiſchen Zuſtand der betreffenden Körper zur Folge haben müßte. Deshalb iſt ein beliebiges Hinderniß für die Drehung der Körpertheilchen und der damit verbundenen inducirten Molecularſtröme erforderlich, ein Hinderniß, das aber nicht die Entſtehung dieſer Ströme betreffen darf. Auch ſollen nach dieſer Anſicht die Molecüle der diamagnetiſchen Körper, z. B. des Wismuths, beſtimmte in ſich zurücklaufende Bahnen (oder Canäle) enthalten, in welchen die elektriſchen Fluida ohne Widerſtand beweglich ſind, während dieſe Fluida in allen anderen Bahnen nur mit Ueberwindung eines ihrer Geſchwindigkeit proportionalen Widerſtandes ſich bewegen können.

Faraday äußerte zuerſt die Anſicht, die er jedoch ſpäter nicht feſtgehalten hat, daß die diamagnetiſchen Erſcheinungen nach Ampère's Theorie darin ihre Erklärung finden könnten, „daß während im Eiſen und in dergleichen magnetiſchen Körpern Ströme parallel mit den im inducirenden Magnet oder galvaniſchen Apparat vorhandenen inducirt würden, im Wismuth, ſchwerem Glaſe und den übrigen diamagnetiſchen Körpern Ströme von entgegengeſetzter Richtung aufträten. Dies würde den Strömen in diamagnetiſchen Körpern gleiche Richtung geben mit denen, welche zu Anfange des inducirenden Stromes in diamagnetiſchen Leitern inducirt werden, und den in magnetiſchen Körpern gleiche mit denen, welche beim Aufhören deſſelben inducirenden Stromes entſtehen. Hinſichtlich nicht leitender magnetiſcher und diamagnetiſcher Subſtanzen würde keine Schwierigkeit entſpringen, weil die hypothetiſchen Ströme nicht in der Maſſe, ſondern rings um die Theilchen der Subſtanz angenommen werden.“ Dieſe Anſicht wurde dann von W. Weber *) zu einer Theorie in dem angedeuteten Sinne ausgebildet.

*) Elektrodynamiſche Maßbeſtimmungen insbeſondere über Diamagnetismus, in den Abhandlungen der königl. ſächſ. Societ. der Wiſſenſch., 1852. Pogg. Ann. Bd. LXXXVII. S. 145. 152.

Wenn wir nun auch hier davon abſehen, daß dieſelben elektriſchen Ströme, welche den Pol eines Magnets darſtellen, entgegengeſetzte Wirkungen auf dieſelben elektriſchen Maſſen in den ſogenannten magnetiſchen und diamagnetiſchen Körpern ausüben, ein Gegenſatz, der, wie es ſcheint, nicht allein durch die materielle Verſchiedenheit dieſer Körper begründet werden kann, ſo iſt doch nicht zu überſehen, daß die Ampère'ſche Theorie des Magnetismus gerade in Hinſicht auf ihr Grundprincip der nöthigen Evidenz entbehrt, inſofern es nämlich bei ihr darauf ankommt, die diamagnetiſchen Erſcheinungen aus der Wechſelwirkung entgegengeſetzter elektriſcher Maſſen abzuleiten. Dieſe Erſcheinungen folgen zwar dem Anſcheine nach ſehr einfach aus gewiſſen Grundgeſetzen der Elektrodynamik; aber es iſt ſehr fraglich, ob die Anziehung und Abſtoßung, welche man zwiſchen zwei beweglichen Stromleitern je nach der Richtung der elektriſchen Ströme unter Umſtänden beobachtet, von der Wechſelwirkung dieſer in den beiden Leitern vorhandenen Ströme herrührt, oder ob nicht vielmehr durch dieſe Ströme eine von der Elektricität ſelbſt unterſchiedene magnetiſche Polarität der Maſſentheilchen veranlaßt wird, welche die beobachteten Anziehungs- und Abſtoßungserſcheinungen der Leiter zur Folge hat. Im letzteren Falle läßt ſich dann die Sache ſo faſſen, wie wir es im Art. Elektromagnetismus Bd. II. S. 815 ff., (vergl. auch S. 813 ff.) und hier (im Anfange dieſer Betrachtungen) dargelegt haben. Außerdem hat (in Ampère's Theorie) die Annahme von Molecularſtrömen, welche die Maſſentheilchen des Stahls oder Eiſens fortwährend umkreiſen ſollen, ihr Bedenkliches, wofern nicht eine elektromotoriſche Urſache nachgewieſen wird, welche die elektriſche Strömung fortdauernd unterhält. Sonſt müſſen die beiden entgegengeſetzt elektriſchen Zuſtände, welche in jedem einmal entſtandenen Molecularſtrome ſich begegnen, nach dem, was man von dem Verhalten der Elektricität erfahrungsmäßig weiß, zur Ausgleichung gelangen, geſetzt auch, ein ſolcher Strom fände auf ſeiner Bahn gar keinen Widerſtand. — Hinſichtlich einiger hierher gehöriger Punkte verweiſen wir auf einen anderen Ort, wo auch unſere obige Theorie der elektriſchen Inductions- und der diamagnetiſchen Erſcheinungen weiter erörtert iſt *).

Nach unſerer Theorie ſind Magnetismus und Diamagnetismus weſentlich daſſelbe. Bringt man einen des Magnetismus fähigen Körper, z. B. ein Stück Eiſen in die Nähe eines Magnetpols, ſo bewirkt dieſer durch ſeine Kraftlinien eine ſolche Anordnung der kleinſten Maſſentheile des Eiſens, daß das ihm zunächſt zugekehrte Ende des letzteren den ungleichnamigen Magnetpol, das abgekehrte Ende aber den gleichnamigen erhält. Wird dagegen ein ſogenannter diamagnetiſcher Körper, z. B. ein Wismuthſtäbchen, vor den Pol eines ſtarken Magnets gebracht, ſo hat die Action des gleichzeitig (durch die Wirkung der Magnetkraftlinien) erregten elektriſchen Stromes das Uebergewicht, ſo daß die von ihm angeſtrebte Anordnung und Polarität der Maſſentheilchen hervortritt. Da nun dieſe Anordnung, gemäß der Richtung des Stromes, die entgegengeſetzte von jener iſt, welche die Magnetkraftlinien direct (nach dem Geſetze der gewöhnlichen magnetiſchen Vertheilung) hervorzubringen ſtreben, ſo entſteht dem betreffenden Magnetpol gegen-

*) Die Lehre von der Elektricität und dem Magnetismus, Verſuch einer theoretiſchen Ableitung der elektriſchen und magnetiſchen Erſcheinungen. Von C. S. Cornelius. Leipzig 1855, bei O. Wigand. S. 192.

über im Wismuthstäbchen ein gleichnamiger Pol, und hiermit zugleich am entgegengesetzten Ende der ungleichnamige Pol. Der ganze Unterschied zwischen Magnetismus und Diamagnetismus beruht also hiernach blos auf der entgegengesetzten Anordnung der kleinsten Massentheilchen der betreffenden Körper, und auf der hiermit verbundenen umgekehrten Lage der Pole.

Verschiedene Physiker haben nun eine solche Polarität der diamagnetischen Körper, die allerdings im Vergleich zu der der gewöhnlichen magnetischen Körper nur sehr schwach ausgeprägt ist, experimental nachzuweisen gesucht. Reich *) fand zunächst, daß der Nord- und Südpol zweier Magnete, wenn sie von derselben Seite her zugleich auf ein Stück Wismuth wirken, dasselbe nicht mit der Summe der Kräfte abstoßen, welche sie einzeln ausüben würden, sondern nur mit der Differenz dieser Kräfte. Weber **) hing eine symmetrisch magnetisirte kleine Magnetnadel an einen Coconfaden in einer gewissen Entfernung von einem starken Magneten auf, so daß des letzteren Drehungsmoment auf die Nadel durch ein anderes gleich großes, aber entgegengesetztes Drehungsmoment eines der Nadel von der entgegengesetzten Seite her genäherten Stabmagnets compensirt wurde. Auf diese Weise ließ sich bewirken, daß die Nadel ihren ursprünglichen Stand und ihre ursprüngliche Schwingungsdauer (Empfindlichkeit) wieder erhielt, und daß es in Beziehung auf diese Nadel eben so war, wie wenn gar kein Magnet auf sie wirkte. Wurde nun das eine Ende eines Wismuthstabes an das Nordende des starken Magnets gebracht, während sein anderes Ende dem Nordende der Magnetnadel genähert wurde, so ward letzteres angezogen. Wurde aber dasselbe Ende des Wismuthstabes an das Südende des starken Magnets gebracht, so wurde das Nordende der Magnetnadel von dem anderen ihm genäherten Ende des Wismuthstabes abgestoßen. Diese Versuche wurden mehrfach abgeändert, wobei jedoch immer die Kraft des Wismuths an anderen Magnetpolen als dem, welcher den diamagnetischen Zustand des Wismuths bestimmt, beobachtet wurde. Ueberall schien sich der Satz zu bestätigen, daß Wismuth auf solche Pole stets entgegengesetzt wie Eisen an seiner Stelle wirkt, daß es also abstößt, wo das Eisen anzieht, und anzieht wo das Eisen abstößt. kurz, daß an anderen Magnetpolen als dem Pol, welcher das Wismuth diamagnetisirt, eben so häufig anziehende wie abstoßende Kräfte des Wismuths beobachtet werden.

Besitzt aber das diamagnetisirte Wismuth in der angegebenen Weise Polarität, so muß dasselbe auch elektrische Ströme in einen benachbarten Leiter induciren können. Um so inducirte Ströme wirklich zu beobachten, wurde auf die kreisförmige Endfläche eines starken Elektromagneten, der durch einen constanten Strom erhalten wurde, eine hohle Spirale aus übersponnenem Kupferdraht befestigt, welche auf schickliche Weise mit einem Commutator und Galvanometer in Verbindung war. Hierauf wurde ein Wismuthstab abwechselnd in die Höhlung der Kupferspirale hineingeschoben und herausgezogen. Das Galvanometer zeigte dann sowohl beim Hineinschieben als auch beim Herausziehen des Wismuths einen schwachen elektrischen Strom an. Diese beiden Ströme hatten entgegengesetzte Richtungen. Als das Wismuth mit einem dünnen Eisenstäbchen vertauscht wurde,

*) Pogg. Ann Bd. LXXIII. S. 60.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 244.

ſo zeigte das Galvanometer den entgegengeſetzten Ausſchlag, ſo daß das Wismuth einen poſitiven Strom inducirte unter den nämlichen Verhältniſſen, unter welchen das Eiſen einen negativen, oder einen Strom in entgegengeſetzter Richtung inducirte, und umgekehrt.

Poggendorff *) näherte einem Wismuthſtäbchen, während es neben dem einen Pol, z. B. dem Nordpol eines kräftigen Elektromagnets, an einem Coconfaden in äquatorialer Lage hing, von derſelben Seite her den Südpol eines kleinen Stahlmagnets. Bei einiger ſich leicht ergebender Vorſicht ließ ſich dann deutlich ſehen, daß die dem elektromagnetiſchen Pol zugewandte Seite des Stäbchens vom Stahlmagnete angezogen wurde. Poggendorff hält es für gut, den Verſuch an der vom Südpol des Elektromagnets abgewandten Seite anzuſtellen, damit dieſer Pol den Pol des Stahlmagnets nicht ſchwäche oder gar umkehre. Statt des Stahlmagnets kann mit Vortheil auch ein kleiner Elektromagnet angewendet werden. — Ein zweites Verfahren von Poggendorff zur Nachweiſung der Polarität des diamagnetiſirten Wismuths weicht von dem vorigen darin ab, daß man den Stahlmagnet durch einen galvaniſchen Strom erſetzt. Das Wismuthſtäbchen wird zu dem Ende zwiſchen beiden Polen des Elektromagnets aufgehängt, und zwar innerhalb eines Drahtgewindes, deſſen Windungen das Stäbchen, bei ſeiner äquatorialen Stellung, rechtwinklig umgeben würden. Ein Strom, der, ohne daß man den Elektromagnet in Thätigkeit geſetzt hat, durch dieſes Drahtgewinde geleitet wird, wirkt nicht auf den Wismuthſtab; ſo wie aber der Elektromagnet zur Wirkſamkeit gelangt iſt, und den Stab in äquatoriale Lage gebracht hat, kann man letzteren durch den Strom aus dieſer Lage ablenken, rechts und links, je nach der Richtung des Stroms, und zwar immer in dem Sinne, wie die Ablenkung erfolgen muß, wenn die Seiten des Stabes gleiche Polarität mit den ihnen zugewandten Magnetpolen beſitzen. Die Wirkung iſt im Ganzen ſchwach, aber unverkennbar. Antimon und Phosphor verhielten ſich ähnlich.

Ein einfaches Mittel, welches Plücker **) fand, um den Diamagnetismus ſchwingender Körper zu verſtärken, ſcheint ebenfalls auf eine wirkliche Polarität der betreffenden Körper hinzuweiſen. Dieſes Mittel beſteht darin, daß man nahe unter dem ſchwingenden Wismuthſtabe einen äquatorial gerichteten Eiſenſtab in die Mitte zwiſchen die beiden Pole des Hufeiſenmagnets bringt und in dieſer Lage feſthält. Der Wismuthſtab ſtrebt ſich dann mit größerer Kraft in die äquatoriale Lage zu ſtellen, und es läßt ſich auch nach der Schwingungsmethode das Verhältniß beſtimmen, in welchem die diamagnetiſche Richtkraft durch die Anbringung des Eiſenſtabes zugenommen hat.

Faraday hat ſich gegen die Exiſtenz einer ſolchen Polarität auf Grund gewiſſer Verſuche erklärt ***). Auch Hankel ****) lieferte ein Fragment einer Theorie des Diamagnetismus, nach welcher die betreffenden Erſcheinungen ihre Urſache in einer Art indifferenter Abſtoßung der Körper von Seiten der Magnetpole haben ſollen. Wenn die von den letzteren ausgehenden Wirkungen (Magnetkraftlinien) eine in ihrer Bahn beliebig gelegene Subſtanz zu durchdringen ſtre-

*) Ann. Bd. LXXIII. S. 475.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 613.
***) Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 75. 232.
****) Pogg. Ann. Bd. LXXV. S. 110.

ben, ſo ſollen ſie an dieſer einen Widerſtand finden, den er mit einer Reibung vergleichen möchte. Durch dieſen Widerſtand wird ein Theil der Magnetkraftlinien aufgehalten oder vernichtet. Der von dem eingeſchalteten Körper erzeugte Widerſtand wird nun an die Maſſe deſſelben übertragen werden, und ein leicht beweglich aufgehangener Körper muß in Folge deſſen eine Richtung annehmen, in welcher die von zwei oder mehreren Magnetpolen ausgehenden Kraftlinien ſich hinſichtlich dieſes Widerſtandes oder der dadurch auf den Körper übertragenen Kräfte im Gleichgewichte befinden. Hierauf geſtützt ſuchte derſelbe die Reſultate der oben berührten Verſuche zu erklären. Wenn man z. B. wie in dem Reich'ſchen Verſuche zwei ungleichnamige Magnetpole von derſelben Seite her einer beweglichen Wismuthkugel nähert, ſo werden die magnetiſchen Kraftlinien eine andere Lage annehmen und vorzugsweiſe von einem Pole zum anderen übergehen, ſo daß die jetzt noch auf die Wismuthkugel gelangenden wenigen Kraftlinien dieſelbe ungefähr mit der Differenz beider Magnetpole abzuſtoßen ſcheinen.

Plücker *) und Weber **) haben indeſſen ſpäter noch weitere Verſuche in dieſer Beziehung angeſtellt, ſo daß die Anſicht von einer wirklichen Polarität der diamagnetiſirten Körper nunmehr wenigſtens zu einem hohen Grade der Wahrſcheinlichkeit erhoben iſt. Ein Wismuthſtab erſcheint innerhalb einer Spirale, durch welche ein galvaniſcher Strom fließt, in der That als ein vollſtändiger Magnet, deſſen Pole nur im Vergleich zu einem hineingeſteckten Eiſenſtabe die umgekehrte Lage haben. Nach einem Verſuche Plücker's ſcheint das Wismuth in der Nähe eines Magnetpols nicht nur polariſch zu werden, ſondern auch ſeine Polarität, nachdem die Erregung aufgehört hat, noch eine Zeit lang zu behalten, oder das Wismuth ſcheint Zeit zu gebrauchen, um ſeine Pole umzukehren ***).

Magnetismus der Erde. Die Magnetnadel zeigt nur an wenigen Orten der Erde mit ihrem Nordende genau nach dem geographiſchen Nordpole, ſondern bald nach einer öſtlich, bald nach einer weſtlich von dem wahren Nordpunkte gelegenen Stelle. Eine durch die Axe der ruhigen Magnetnadel gelegte verticale Ebene iſt die Ebene des magnetiſchen Meridians, und dieſe Ebene bildet alſo mit der Ebene des aſtronomiſchen Meridians bald einen öſtlich, bald einen weſtlich liegenden Winkel. Dieſer Winkel heißt der Deklinationswinkel, und dies Eigenthümliche der Magnetnadel, den aſtronomiſchen Meridian unter verſchiedenen Winkeln zu ſchneiden, die Deklination oder Abweichung der Magnetnadel. Ueber das Specielle der Deklination handelt Art. Abweichung, magnetiſche, Bd. I. S. 47, über die Beſtimmung derſelben, theilweiſe wenigſtens, Art. Deklinatorium Bd. II. S. 461; wegen des Näheren der Variationsbeſtimmung vergl. Art. Magnetometer.

Eine fernere Eigenthümlichkeit der Magnetnadel iſt die Neigung oder Inklination, welche darin beſteht, daß eine vor dem Magnetiſiren im Schwerpunkte unterſtützte Nadel, die ſich in einer verticalen Ebene bewegen kann, nach

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXVI. S. 1. 6.

**) Pogg. Ann. Bd. LXXXVII. S. 145. 168.

***) In Bezug auf Diamagnetismus kann auch noch verglichen werden: v. Feilitzſch in Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 90.; Bd. LXXXVII. S. 206. Thomson: Phil. Magaz. Ser. III. Vol. 37. p. 211. Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 248. Tyndall: Pogg. Ann. Bd. LXXXVII. S. 189.

dem Magnetiſiren nicht mehr in jeder Lage im Gleichgewichte bleibt, ſondern, wenn ihre Schwingungsebene in der Ebene des magnetiſchen Meridians liegt, an jedem Orte einen beſtimmten Winkel mit dem Horizonte bildet. Das Nähere hierüber enthält der Art. Neigung und über die Beſtimmung derſelben handelt der Art. Inklinatorium, Bd. IV. S. 85.

Läßt man ein und dieſelbe Deklinationsnadel ſchwingen, indem man dieſelbe aus ihrer Ruhelage bringt und ſich dann ſelbſt überläßt, ſo macht ſie an verſchiedenen Orten in derſelben Zeit eine verſchiedene Anzahl Schwingungen. Vergleicht man die an zwei verſchiedenen Orten gewonnenen Reſultate mit einander, ſo ergiebt ſich, unter Anwendung der für Pendelſchwingungen geltenden Geſetze (ſ. Art. Pendel), das Verhältniß der die Schwingungen verurſachenden Kraft, oder die relative Stärke oder Intenſität des Magnetismus. Ein ähnliches Verhalten zeigt eine im magnetiſchen Meridiane ſchwingende Inklinationsnadel.

Hält man eine Stange von weichem Eiſen in der Richtung, welche eine an einem Faden aufgehängte Inklinationsnadel (ſ. Eingang des Art. Inklinatorium) annimmt, ſobald ſie zur Ruhe gekommen iſt, alſo in der Richtung der in dem magnetiſchen Meridiane ruhig ſtehenden Inklinationsnadel, ſo wird eine kleine bewegliche Magnetnadel in unſeren Gegenden an dem oberen Ende der Stange mit dem Nordpole und an dem unteren Ende derſelben mit dem Südpole angezogen, und zwar auch dann noch, wenn man die Eiſenſtange umkehrt, ein Beweis, daß dieſe Wirkung keine der Eiſenſtange bleibend inwohnende iſt, ſondern in derſelben erſt hervorgerufen wurde durch die beſondere Richtung, welche dieſelbe erhielt.

Betrachten wir dieſe Erſcheinungen näher, ſo kommen wir zu dem Schluſſe, daß es gerade ſo ſei, als ob die Erde ſelbſt ein Magnet wäre, oder als ob ſich an gewiſſen Stellen der Erde magnetiſche Pole befänden. Denn legen wir einen großen Stabmagnet ſo in den magnetiſchen Meridian, daß ſein Südpol nordwärts und ſein Nordpol ſüdwärts liegt, und ſtellen eine kleine bewegliche Magnetnadel öſtlich oder weſtlich in ungleiche Entfernung von den beiden Polen des Stabmagneten, ſo erhalten wir an der Magnetnadel Deklinationserſcheinungen; ſtellen wir die Magnetnadel über den Stabmagneten in ungleiche Entfernung von den beiden Polen, ſo treten die Inklinationserſcheinungen auf; verſetzen wir die auf oder über dem Stabmagneten ſtehende Magnetnadel in Schwingungen, ſo zeigen ſich die Intenſitätserſcheinungen, und nähern wir einen Draht von weichem Eiſen den Polen des Stabmagnets, ſo beobachten wir an dem abgewendeten Ende daſſelbe, wie vorher bei dem in der Richtung der Inklinationsnadel gehaltenen Stabe weichen Eiſens.

Dieſe Analogie iſt Veranlaſſung geweſen, die Erde ſelbſt als einen Magneten anzuſehen, und in dieſem Sinne ſpricht man von Magnetismus der Erde.

Nehmen wir dieſe Analogie als eine Identität an, ſo müſſen wir dem im Norden der Erde befindlichen magnetiſchen Pole die dem Nordpole der Magnetnadel entgegengeſetzten Eigenſchaften zuſprechen und eben ſo dem im Süden der Erde liegenden die dem Südpole der Magnetnadel entgegengeſetzten, d. h. im Norden der Erde liegt ein magnetiſcher Südpol und im Süden ein magnetiſcher Nordpol. Da es naturgemäßer ſcheint den im Norden

der Erde liegenden magnetiſchen Pol als Nordpol und den im Süden liegenden als Südpol zu bezeichnen, ſo müßte man die Pole der Magnetnadel eigentlich umtaufen und den in Deutſchland ſogenannten Nordpol der Nadel den Südpol und den Südpol den Nordpol nennen. Die Franzoſen haben dieſe Umtaufung in der That vorgenommen; wir bleiben jedoch bei der bei uns eingebürgerten Bezeichnungsweiſe ſtehen.

In dieſem Jahrhunderte hat man die Unterſuchung des Erdmagnetismus mit großem Eifer betrieben. Die Beobachtungsmethoden ſind ſorgfältig geprüft, neue Inſtrumente conſtruirt, welche zuverläſſige Reſultate ergeben, die Stationen genauer Beobachtungen ſind vermehrt, über alle Theile der Erde verbreitet und mit einander in Verbindung geſetzt, ſo daß an allen Stationen zum Theil gleichzeitige Beobachtungen angeſtellt werden, und eine theoretiſche Grundlage iſt gewonnen worden, welche durch Benutzung der Beobachtungsreſultate ſich immer mehr entwickelt. Die Lehre von dem Magnetismus der Erde iſt hierdurch aus ihrer untergeordneten Stellung herausgetreten.

Die Artikel: Abweichung, magnetiſche, Deklinatorium, Inklinatorium, Magnetometer und Neigung enthalten zum Theil das auf den Magnetismus der Erde bezügliche Material, allerdings nicht in aller Vollſtändigkeit, da dies nicht in dem Charakter dieſes Werkes liegen kann, aber doch um hinreichende Einſicht in die Verhältniſſe zu gewähren, und eben ſo bieten dieſe Artikel in Betreff der Inſtrumente das Hauptſächlichſte. Nöthige Ergänzungen, namentlich wegen der Intenſität, da derſelben kein beſonderer Artikel gewidmet iſt, werden in dieſem Artikel ihre Stelle finden. Wer vollſtändig die auf dem Gebiete des Erdmagnetismus gewonnenen Reſultate kennen lernen will, den müſſen wir hinweiſen auf die Reſultate des magnetiſchen Vereins. Göttingen 1836 ff.

Die möglichſt vollſtändige Zuſammenſtellung der Erſcheinungen auf dem Wege der Beobachtung iſt nicht das Ziel der Wiſſenſchaft; dieſe verlangt Unterwürfigkeit der verwickelten Erſcheinungen unter ein Princip. Die Grundkräfte ſind alſo im vorliegenden Falle zu erforſchen nach ihrer Wirkungsart und nach ihren Größenwerthen, welche die Erſcheinungen des Erdmagnetismus hervorbringen. Die zu Gebote ſtehenden Beobachtungen müſſen ſich aus dem zu Grunde gelegten Principe mit ſolcher Genauigkeit ableiten laſſen, daß man im Stande iſt wenigſtens mit einem gewiſſen Grade von ſicherer Annäherung die Erſcheinungen für die Gegenden zu anticipiren, in welche die Beobachtung nicht hat dringen können.

Eine phyſikaliſche Grundlage kann man nun nur ſolchen Verſuchen zugeſtehen, welche die Erde wie einen wirklichen Magneten betrachten und die erwieſene Wirkungsart eines Magnets in die Ferne allein der Rechnung unterwerfen. Es ſind alſo alle diejenigen Verſuche, zu dem hier vorliegenden Ziele zu gelangen, verwerflich, bei denen nicht im Voraus unterſucht wurde, wie dieſer große Magnet beſchaffen ſein müſſe, um den Erſcheinungen Genüge zu leiſten, ſondern von vorn herein von einer beſtimmten einfachen Beſchaffenheit ausgegangen und probirt wurde, ob die Erſcheinungen ſich mit der aufgeſtellten Hypotheſe vertrügen.

Nimmt man an, der Magnetismus ſei in der Erde ſo vertheilt, daß die Geſammtwirkung nach außen der Wirkung eines fingirten unendlich kleinen Magnets äquivalire, der im Mittelpunkte der Erde wäre, ungefähr eben ſo wie bei

der Gravitation, so stimmen die Resultate nur sehr wenig mit den Resultaten der Beobachtung.

Tobias Mayer nahm nach Euler's Vorgange*) einen unendlich kleinen Magneten an, der um $^1/_7$ des Erdradius von dem Mittelpunkte der Erde entfernt sein und dessen Aequatorialebene durch diesen Mittelpunkt gehen sollte. Die Berechnungen der Deklination stimmten bei einigen Oertern sehr gut mit den Beobachtungen überein, aber eine ausgedehntere Prüfung, namentlich auch durch Intensitätsbestimmungen, die zu jener Zeit noch gänzlich fehlten, zeigte die Unhaltbarkeit dieser Hypothese.

Hansteen**) versuchte die Hypothese zweier unendlich kleinen Magnete von ungleicher Lage und Stärke den Erscheinungen anzupassen: aber es ergaben sich bei Vergleichung der durch Rechnung gewonnenen Resultate mit den Beobachtungen doch zu bedeutende Differenzen, z. B. bei der Inklination bis zu 13°, als daß man die aufgestellte Theorie als befriedigend hätte gelten lassen können.

Aus der Mangelhaftigkeit der eben aufgeführten Hypothesen, die allerdings ihr Gutes gehabt haben, indem durch dieselben der Gegenstand immer mehr Interesse gewann, geht hinreichend hervor, daß die magnetische Beschaffenheit der Erde nicht derartig ist, daß eine Concentrirung in einen einzigen oder in ein Paar einzelne unendlich kleine Magnete als Stellvertreterin gelten kann. Für eine größere Zahl von fingirten Magneten würde man vielleicht zuletzt eine genügende Uebereinstimmung erhalten; aber die Rechnung würde mit großen Schwierigkeiten zu kämpfen haben. Dieser Weg erinnert übrigens an die Versuche, die Bewegungen der Planeten durch immer mehr gehäufte Epicyklen zu erklären, und darum war es rathsam, diesen Weg ganz zu verlassen. Historisch sei nur noch bemerkt, daß 1804 Biot eine Darstellung der Neigungsbeobachtungen zu geben versuchte unter der Annahme, daß der magnetische Aequator ein größter Kreis sei und daß in der Axe desselben in gleichen Entfernungen von dem Mittelpunkte der Erde zwei Centra anziehender und abstoßender Kräfte — ein südliches und ein nördliches — sich befänden, welche die Magnetpole der Erde vorstellten. Eben so möge Mollweide***) erwähnt werden, obgleich er die Lehre vom Magnetismus wenig förderte, da er sich an Euler's Theorie anschloß, und Steinhäuser****), der um die Periodicität der magnetischen Erscheinungen zu erläutern, im Innern der Erde einen Magneten annahm, welcher als selbstständiger Planet — Minerva oder Pluto — in der Entfernung von 0,2 des Erdhalbmessers unter der Oberfläche der Erde in einem Zeitraume von 440 Jahren seinen Umlauf beendigen sollte.

Durch Versuche, welche P. Barlow*****) über die Verbreitung des Magnetismus über die Oberfläche eiserner Kugeln anstellte, wurde der Gedanke angeregt, daß auch unsere Erde nur auf ihrer Oberfläche magnetisch sein möchte.

---

*) Hist. de l'Acad. roy. de Berlin. Ann. 1757. p. 175; 1766. p. 213.

**) Untersuchungen über den Magnetismus der Erde, übersetzt von P. Treschow Hanson. Christiania 1819. Vergl. Gehler's phys. Wörterb. N. B. Bd. VI. S. 1048 ff.

***) Gilbert's Ann. Bd. LXX. S. 26.

****) Gilbert's Ann. Bd. LVII. S. 393; Bd. LXI. S. 75; Bd. LXV. S. 267; vergl. auch Jenaer Allg. Lit. Zeitg. 1818. Nr. 165.

*****) Phil. Transact. 1818.

Er fand nämlich, daß eine durch den magnetiſchen Einfluß der Erde magnetiſirte maſſive Eiſenkugel nicht ſtärker auf die Magnetnadel wirkte, als eine hohle Kugel von derſelben Größe, deren Dicke kleiner als $^1/_{200}$ des Durchmeſſers war. Wie und wodurch dieſer Magnetismus erzeugt würde, blieb allerdings noch dahingeſtellt. Ampère *) vermuthete, daß die Erde durch einen elektriſchen Strom magnetiſch werde, welcher ſie in Folge der ſcheinbaren Bewegung der Sonne um die Erde täglich in der Richtung von Oſt nach Weſt umfließe. Doch zunächſt können wir dieſe Ideen nicht weiter verfolgen, und wir knüpfen daher wieder an den Ergebniſſen der Barlow'ſchen Unterſuchungen an.

Iſt der Sitz des Magnetismus der Erde in der Erdoberfläche zu ſuchen, ſo könnte man eine hierauf hinzielende Hypotheſe aufſtellen und deren Folgen vollſtändig mathematiſch entwickelt mit der Erſcheinung vergleichen. Auf dieſem Wege hat Moſer **), anknüpfend an eine Abhandlung von Barlow ***) über den Erdmagnetismus, einige merkwürdige Reſultate zuſammengeſtellt. Bei weitem wichtiger aber ſind die Unterſuchungen von Gauß ****) geworden, welcher rückwärts aus den Erſcheinungen auf die wirkenden Kräfte und die Bedingungen, unter welchen ſie wirken, ſchließt. Die Reſultate, ſo unvollkommen ſie auch noch ſein müſſen, geben doch einen Begriff davon, was man in Zukunft zu erreichen hoffen darf, wenn einer feineren und wiederholten Ausfeilung derſelben recht zuverläſſige und vollſtändige Beobachtungen aus allen Gegenden untergelegt werden können. Es iſt ſeitdem ſehr viel geſchehen, um zuverläſſige Reſultate zu gewinnen, und man nähert ſich nun immer mehr dem von Gauß geſteckten Ziele.

Die Arbeit von Gauß iſt zwar eines Auszuges nicht fähig, ſo daß wir auf das Original verweiſen müſſen; indeſſen wollen wir der Wichtigkeit des Gegenſtandes wegen wenigſtens einige ausführlichere Andeutungen über den Inhalt geben.

1) Die Kraft, welche einer in ihrem Schwerpunkte aufgehängten Magnetnadel an jedem Orte der Erde eine beſtimmte Richtung ertheilt, — natürlich mit Beſeitigung aller äußeren künſtlichen Einwirkungen — nennt man die erdmagnetiſche Kraft, inſofern man den Sitz ihrer Urſache nur in dem Erdkörper ſelbſt ſuchen kann.

Zweifelhaft iſt der Sitz der Urſachen zu den regelmäßigen und unregelmäßigen ſtündlichen Variationen; da dieſe Variationen verhältnißmäßig ſehr klein ſind, ſo muß eine viel ſtärkere, beharrlich wirkende Hauptkraft in der Erde ſelbſt da ſein. Die thatſächlichen Grundlagen zur Unterſuchung dieſer Grundkraft können nur durch Mittelwerthe aus zahlreichen fortgeſetzten Beobachtungen erhalten werden, und ſo lange dieſe nicht von einer möglichſt großen Anzahl von Punkten auf der ganzen Erdoberfläche vorhanden ſind, kann man nur eine Annäherung erreichen, wobei Differenzen von der Ordnung der erwähnten Anomalien zurückbleiben können.

2) Die Vorausſetzung, daß die erdmagnetiſche Kraft die Geſammtwirkung aller magnetiſchen Theile des Erdkörpers iſt, bildet die Grundlage der ganzen

---

*) S. Art. Elektromagnetismus. Bd. II. S. 784.
**) Repertorium der Phyſik, von Dove 1838. Bd. II. S. 238—263.
***) Phil. Trans. 1831. Part. I.
****) Reſultate des magn. Ver. 1838.

Unterſuchung. Das Magnetiſirtſein wird aufgefaßt als eine Scheidung der magnetiſchen Flüſſigkeiten, worüber der Art. Magnetismus zu vergleichen iſt.

3) Zur Abmeſſung der magnetiſchen Flüſſigkeiten wird diejenige Quantität nördlichen Fluidums als poſitive Einheit zu Grunde gelegt, welche auf eine eben ſo große Quantität deſſelben Fluidums in der Einheit der Entfernung eine bewegende Kraft ausübt, die der zur Einheit angenommenen gleich iſt *). Unter der magnetiſchen Kraft, die anderswo befindliche magnetiſche Flüſſigkeit auf irgend einen Punkt des Raumes ausübt, wird die bewegende Kraft verſtanden, welche daſelbſt auf die Einheit des poſitiven magnetiſchen Fluidums ausgeübt wird. Es übt alſo die in einem Punkte concentrirt gedachte magnetiſche Flüſſigkeit μ in der Entfernung ϱ die magnetiſche Kraft $\frac{\mu}{\varrho^2}$ aus, abſtoßend oder anziehend in der Linie ϱ, je nachdem μ + oder — iſt. Iſt nun der Punkt μ durch die drei rechtwinkeligen Coordinaten a, b und c, der Punkt, an welchem die Kraft ausgeübt wird, durch x, y und z bezeichnet, ſo iſt

$$\varrho = \sqrt{(x-a)^2+(y-b)^2+(z-c)^2}$$

und die Componenten der magnetiſchen Kraft nach den drei Coordinatenaxen werden:

$$\frac{\mu(x-a)}{\varrho^3},\ \frac{\mu(y-b)}{\varrho^3} \text{ und } \frac{\mu(z-c)}{\varrho^3},$$

d. h.

$$\frac{d\left(-\frac{\mu}{\varrho}\right)}{dx},\ \frac{d\left(-\frac{\mu}{\varrho}\right)}{dy},\ \frac{d\left(-\frac{\mu}{\varrho}\right)}{dz}.$$

Wirken außer μ noch die magnetiſchen Flüſſigkeiten μ', μ'' ... aus den Entfernungen ϱ', ϱ'' ... auf den Punkt x, y, z, ſo ſind die Componenten nach den drei Coordinatenaxen gleich den partiellen Differentialquotienten nach xyz von

$$-\left(\frac{\mu}{\varrho}+\frac{\mu'}{\varrho'}+\frac{\mu''}{\varrho''}\ldots\right).$$

4) Man denke ſich das ganze Volumen der Erde, ſo weit es freien Magnetismus, d. h. geſchiedene magnetiſche Flüſſigkeit enthält, in unendlich kleine Elemente zerlegt; die in jedem Elemente enthaltene Menge freien magnetiſchen Fluidums ſei unbeſtimmt $d\mu$, wobei ſüdlich ſtets als negativ zu betrachten iſt; die Entfernung des $d\mu$ vom Punkte xyz im Raume ſei ϱ; das Aggregat der $\frac{d\mu}{\varrho}$ über die Geſammtheit aller magnetiſchen Theilchen der Erde ſei V, alſo:

$$V = -\int\frac{d\mu}{\varrho};$$

die magnetiſche Kraft in jedem Punkte des Raumes ſei ψ, und ξ, η und ζ ſeien die den Axen parallelen Componenten, alſo:

$$\xi = \frac{dV}{dx},\ \eta = \frac{dV}{dy},\ \zeta = \frac{dV}{dz};\ \psi = \sqrt{\xi\xi+\eta\eta+\zeta\zeta}.$$

*) Intensitas vis magneticae terrestris ad mensuram absolutam revocata. Götting. 1833. Vergl. auch Art. Magnetismus.

5) Alsdann ist

$$dV = \frac{dV}{dx}dx + \frac{dV}{dy}dy + \frac{dV}{dz}dz = \xi dx + \eta dy + \zeta dz.$$

Wenn die Punkte, auf welche sich V und V + dV beziehen, um ds entfernt sind, und Θ der Winkel zwischen der Richtung der magnetischen Kraft Ψ und dem ds ist, so ist

$$dV = \Psi . \cos\Theta . ds.$$

6) Verbindet man zwei Punkte P^0 und P′ im Raume durch eine beliebige Linie, deren unbestimmtes Element ds ist, und ist Θ wieder der Winkel zwischen ds und der Richtung der dort stattfindenden magnetischen Kraft und Ψ deren Intensität, so ist

$$\int \Psi . \cos\Theta\, ds = V' - V^0,$$

wenn $\int$ sich über die ganze Linie erstreckt und V^0 und V′ die Werthe von V in P^0 V P′ sind. Daraus ergiebt sich:

I. $\int \Psi \cos\Theta\, ds$ behält denselben Werth, auf welchem Wege man auch von P^0 nach P′ geht.

II. $\int \Psi \cos\Theta . ds = 0$, wenn es sich auf die ganze Länge einer in sich zurückkehrenden Linie erstreckt.

III. In einer geschlossenen Linie muß, wenn nicht durchgehends $\Theta = 90^0$ ist, ein Theil der Θ kleiner, ein anderer Theil größer als 90^0 sein.

7) Die Fläche, in deren sämmtlichen Punkten $V = V^0$ ist, scheidet die Punkte des Raumes, in welchen $V > V^0$ ist, von denen, wo $V < V^0$ ist. Ein isolirter Punkt oder eine isolirte Linie, um den oder um die rings herum nur kleinere oder nur größere Werthe von Θ stattfinden würden, oder auch eine Fläche, auf deren beiden Seiten zugleich kleinere oder zugleich größere Werthe gälten, ist nicht möglich.

Da für solche Grenzflächen $\frac{dV}{ds} = 0$ sein soll, wenn s in der Fläche liegt, so muß $\Psi \cos\Theta = 0$ sein, d. h. Ψ oder die magnetische Kraft hat in jedem Punkte der Fläche eine zu derselben senkrechte Richtung und zwar nach der Seite zu, auf welcher die größeren Werthe von V stattfinden. Ist nun ds eine unendlich kleine gegen die Fläche senkrechte Linie und $V^0 + dV^0$ der Werth am anderen Endpunkte des ds, so ist die Intensität der magnetischen Kraft $\frac{dV^0}{ds}$. Die Gesammtheit aller Punkte, in denen $V = V^0 + dV^0$ ist, liegt auf einer zweiten der ersten unendlich nahen Fläche, und an den verschiedenen Stellen des Zwischenraums ist die Intensität der magnetischen Kraft der Entfernung beider Flächen von einander umgekehrt proportional. Läßt man nun V sich durch unendlich kleine, aber gleiche Stufen ändern, so bekommt man ein System von Flächen, die den Raum in unendlich dünne Schichten theilen, und die umgekehrte Proportionalität der Dicke der Schichten zu der Intensität der magnetischen Kraft gilt dann nicht blos für verschiedene Stellen einer und derselben Schicht, sondern auch für verschiedene Schichten.

Nachdem Gauß diese allgemeinen Resultate gewonnen hat, geht er zu dem horizontalen Theile der erdmagnetischen Kraft über.

8) iſt im Punkte P der Erdoberfläche Ψ die Intenſität und PM die Richtung der ganzen magnetiſchen Kraft; ω die Intenſität und PN die Richtung der auf die Horizontalebene projicirten magnetiſchen Kraft; $i = < MPN$; P′ ein unendlich naher Punkt der Erdoberfläche; $PP' = ds$; $P'PM = \Theta$; $P'PN = t$; ſo iſt $\cos\Theta = \cos i \cos t$ und $\omega = \Psi \cos i$, mithin nach Nr. 5, wenn V dem P und $V + dV$ dem P′ entſpricht,

$$dV = \omega \cos . t . ds.$$

Sind alſo zwei Punkte der Erdoberfläche P^0 und P′, in denen V die Werthe V^0 und V′ hat, durch irgend eine ganz auf der Erdoberfläche liegende Linie verbunden, deren unbeſtimmtes Element ds iſt, ſo iſt:

$$\int \omega \cos . t . ds = V' - V^0,$$

wenn die Integration ſich über die ganze Linie erſtreckt. Auch hier gelten wie in Nr. 6:

I. $\int \omega \cos . t . ds$ behält ſeinen Werth, wie man auch auf der Erdoberfläche von P^0 nach P′ gehe.

II. $\int \omega \cos . t . ds = 0$, für die ganze Länge einer auf der Erdoberfläche liegenden geſchloſſenen Linie.

III. In einer geſchloſſenen Linie muß, wenn nicht durchgehends $t = 90^0$ iſt, ein Theil der Werthe von t kleiner, ein anderer größer als 90^0 ſein.

9) I. und II. laſſen ſich näherungsweiſe an wirklichen Beobachtungen prüfen. Iſt nämlich $P^0 P' P'' \ldots . P^0$ ein Polygon auf der Erdoberfläche, deſſen Seiten die kürzeſten Linien zwiſchen ihren Endpunkten ſind, alſo größte Kreisbogen bei einer Kugeloberfläche; ſind $\omega^0, \omega', \omega'' \ldots$ die Intenſitäten der horizontalen magnetiſchen Kraft in den Ecken $P^0, P', P'' \ldots$; $\delta^0, \delta', \delta'' \ldots$ die zugehörigen Deklinationen und zwar weſtlich vom Nordpole als > 0, öſtlich davon als < 0 betrachtet; iſt (0.1) das Azimuth der Linie $P^0 P'$ in P^0 und zwar von Süden nach Weſten herumgezählt, alſo (1.2) das der Linie $P' P''$ u. ſ. f., eben ſo (1.0) das Azimuth der Linie $P^0 P'$, rückwärts genommen im Punkte P′ u. ſ. f., ſo ändert ſich t in jeder Polygonſeite ſtetig, in den Eckpunkten hingegen ſprungweiſe, ſo daß man hier zwei Werthe erhält, z. B. in P′ als Endpunkt von $P' P^0$ iſt $t = (1.0) + \delta'$ und als Endpunkt von $P' P'' = 180^0 + (1.2) + \delta'$.

Nun giebt $\int \omega \cos . t . ds$ über $P^0 P'$ ausgedehnt näherungsweiſe:

$$\tfrac{1}{2} (\omega^0 \cos . t^0 + \omega' \cos . t') P^0 P',$$

wo t^0, t′ die Werthe von t in P^0 als Anfangspunkt und in P′ als Endpunkt von $P^0 P'$ bedeuten. Setzt man dieſe Werthe von t ein, ſo erhält man:

$$= \tfrac{1}{2} [\omega' \cos ((1.0) + \delta') - \omega^0 \cos ((0.1) + \delta^0)] P^0 P'$$

eben ſo für $P' P''$

$$= \tfrac{1}{2} [\omega'' \cos ((2.1) + \delta'') - \omega' \cos ((1.2) + \delta')] P' P'' \text{ u. ſ. f.};$$

folglich erhält man für ein Dreieck näherungsweiſe nach 8. II:

$$\omega^0 [P^0 P' \cos ((0.1) + \delta^0) - P^0 P'' \cos ((0.2) + \delta^0)] +$$
$$+ \omega' [P' P'' \cos ((1.2) + \delta') - P' P^0 \cos ((1.0) + \delta')] +$$
$$+ \omega'' [P'' P^0 \cos ((2.0) + \delta'') - P'' P' \cos ((2.1) + \delta'')] = 0.$$

10) Eine Probe, angeſtellt für Göttingen, Mailand und Paris, ergiebt aus den beobachteten Intenſitäten zu Göttingen und Mailand eine Intenſität für Paris = 0,51696, faſt übereinſtimmend mit der beobachteten 0,51804.

11) Die horizontale magnetiſche Kraft iſt in jedem Punkte der Linie auf der Erdoberfläche, in deren ſämmtlichen Punkten V einen beſtimmten Werth V^0 hat, die alſo die Theile der Fläche, in welchen $V > V^0$ iſt, von denen ſcheidet, in welchen $V < V^0$ iſt, ſenkrecht auf derſelben und zwar nach der Seite hingerichtet, wo V den größeren Werth hat. Iſt ds eine unendlich kleine Linie in dieſer Richtung und $V^0 + dV^0$ der Werth von V in ihrem anderen Endpunkte, ſo iſt $\frac{dV^0}{ds}$ die Intenſität der horizontalen magnetiſchen Kraft an dieſer Stelle.

Auch hier bildet die Geſammtheit der Punkte, denen der Werth $V^0 + dV^0$ entſpricht, eine zweite der erſten unendlich nahe Linie, es wird alſo hierdurch auf der Erdoberfläche eine Zone ausgeſondert, innerhalb deren V Werthe hat, die zwiſchen V^0 und $V^0 + dV^0$ liegen, und wo die horizontale Intenſität der Breite der Zone umgekehrt proportional iſt. Es wird demnach — wenn man V durch unendlich kleine, aber gleiche Stufen von dem kleinſten auf der Erdoberfläche ſtattfindenden Werthe bis zum größten ſich ändern läßt — die ganze Erdoberfläche in eine unendlich große Anzahl unendlich ſchmaler Zonen abgetheilt, gegen deren Scheidungslinie die horizontale magnetiſche Kraft ſtets normal und in ihrer Intenſität der Breite der Zonen an den betreffenden Stellen umgekehrt proportional iſt. Den beiden äußerſten Werthen von V entſprechen hierbei zwei von den Zonen eingeſchloſſene Punkte, in welchen die horizontale magnetiſche Kraft o iſt, und wo alſo die ganze magnetiſche Kraft vertical wird. Die Punkte heißen die magnetiſchen Pole der Erde.

Die Scheidungslinien der Zonen ſind nur die Schnitte der unter Nr. 7 betrachteten Flächen mit der Erdoberfläche, während in den Polen nur Berührung ſtattfindet.

12) Dieſe Geſtaltung des Linienſyſtems iſt der einfachſte Typus, welcher allerdings mancherlei Ausnahmen bei verſchiedener Vertheilung des Magnetismus der Erde erleiden könnte; aber auf der Erde gehen die Ausnahmefälle nicht ins Große, ſind höchſtens local und jene Geſtaltung findet auf der Erde wirklich ſtatt.

Die Pole ſind alſo die Punkte der Erdoberfläche, an denen die horizontale Intenſität o, oder die Inklination $= 90^0$ iſt, eingeſchloſſen den beſonderen Fall — wenn er vorkäme —, daß die ganze Intenſität $= o$ iſt *).

Im Allgemeinen, d. h. abgeſehen von der Erde, kann es zwei oder mehrere Pole geben. Sind zwei Nordpole vorhanden, ſo liegt zwiſchen beiden noch ein dritter, der Nord- und Südpol zugleich iſt, d. h. weder das Eine noch das Andere; eben ſo bedingen zwei Südpole das Daſein eines dritten Poles, der Süd- und Nordpol zugleich iſt oder weder das Eine noch das Andere.

---

*) Duperrey (Ann. chim. et phys. T. XXX. p. 347. Pogg. Ann. Bd. VIII. S. 178) verſteht unter dem magnetiſchen Pole der Erde den Punkt, an welchem die Intenſität ein Maximum iſt; und wo dieſelbe ein Minimum iſt, da iſt nach demſelben der magnetiſche Aequator. Aber die Linie der kleinſten Intenſität liegt nach Hanſteen (Pogg. Ann. Bd. XXVIII; Aſtron. Nachr. 1831. Nr. 209) wahrſcheinlich im ſüdlichen Afrika, nimmt nur einen mehr oder minder ausgedehnten Strich ein und ſchneidet nicht alle Meridiane.

13) Der Inbegriff aller Punkte, an denen V einen bestimmten Werth hat, kann eine aus mehreren Stücken bestehende Linie sein, wovon jedes in sich zurückkehrt, oder eine sich selbst kreuzende Linie, oder eine solche, auf deren beiden Seiten Flächenräume liegen, wo V zugleich größer oder zugleich kleiner ist als in der Linie. — Auf der Erde finden große Abweichungen solcher Art vom einfachsten Typus nicht statt; nur locale Abweichungen sind denkbar.

14) Auf der Erdoberfläche ist V eine Function der geographischen Länge λ, gezählt von einem ersten Meridiane nach Osten hin, und der Distanz u von dem Nordpole her. Die Erde selbst wird angesehen als ein Umdrehungsellipsoid von einer um die kleine Axe gedrehten Ellipse, deren halbe große Axe R und halbe kleine $(1 - \varepsilon)$ R ist. Sieht man nun von der sphäroidischen Gestalt der Erde ab, da es noch an ausreichenden Beobachtungsdaten fehlt; so reduciren sich die entwickelten allgemein gültigen Resultate für die Componenten der horizontalen magnetischen Kraft: X in der Richtung des Erdmeridians — positiv, wenn sie nach Norden gerichtet ist — und Y senkrecht auf den Erdmeridian und positiv, wenn sie nach Westen gerichtet ist, auf folgende Werthe:

$$X = -\frac{dV}{R\,du}, \quad Y = -\frac{dV}{R \sin u \,.\, d\lambda}.$$

15) Da V eine Function von u und λ ist, so ist es auch X, und aus X läßt sich Y a priori ableiten. Man erhält dann:

$$Y = \frac{1}{\sin u} \int_0^u \frac{dX}{d\lambda}\, du.$$

16) Wenn die nach Norden gerichtete Componente der horizontalen erdmagnetischen Kraft für die ganze Erdoberfläche gegeben ist, so folgt die nach Westen oder Osten gerichtete Componente von selbst daraus. Kennt man die Componente der horizontalen magnetischen Kraft in der Richtung nach Westen für die ganze Erdoberfläche und die nach Norden gerichtete Componente derselben für alle Punkte einer den Südpol mit dem Nordpole verbindenden Linie, so folgt daraus die letzte Componente von selbst.

17) Nun geht Gauß auf die allgemeine Aufgabe ein, welche außer der horizontalen magnetischen Kraft auch die verticale umfaßt.

V ist eine Function von drei Größen, welche den Werth des Punktes O im Raume bestimmen, nämlich von r und λ, wo r die Entfernung des Punktes O von dem Mittelpunkte der Erde, u der Winkel zwischen r und der nach Norden gerichteten Erdaxe und λ der Winkel zwischen der Ebene durch r und die Erdaxe und einem festen Meridiane, positiv nach Osten zu gezählt, ist.

Allgemein ist:

$$V = \frac{R^2 P^0}{r} + \frac{R^3 P'}{r^2} + \frac{R^4 P''}{r^3} + \frac{R^5 P'''}{r^4} + \ldots,$$

wo $P^0, P' \ldots$ Functionen von u und λ sind.

Wegen der näheren Entwickelung müssen wir auf das Original verweisen; eben so wegen des Nachweises,

18) daß $P^{(n)}$ ein Aggregat von $2n + 1$ Theilen ist in folgender Weise:

$$P^{(n)} = g^{n,0} P^{n,0} + (g^{n,1}\cos\lambda + h^{n,1}\sin\lambda) P^{n,1} + (g^{n,2}\cos 2\lambda + h^{n,2}\sin 2\lambda) P^{n,2} + \\ + \ldots + (g^{n,n}\cos n\lambda + h^{n,n}\sin n\lambda) P^{n,n},$$

wo $g^{n,0}$, $g^{n,1}\ldots$, $h^{n,1}$, $h^{n,2}\ldots$ bestimmte Zahlencoefficienten sind.

19) Zerlegt man die im Punkte O stattfindende magnetische Kraft in drei auf einander senkrechte X, Y und Z, von denen die dritte nach dem Mittelpunkte der Erde gerichtet ist, X und Y also die durch O gelegte mit der Erde concentrische Kugelfläche berühren, X in der durch O und die Erdaxe gelegten Ebene nach Norden, Y parallel dem Erdäquator nach Westen liegt, so ist

$$X = -\frac{dV}{r\,du}; \quad Y = -\frac{dV}{r\sin u\,d\lambda}; \quad Z = -\frac{dV}{dr}$$

folglich

$$X = -\frac{R^3}{r^3}\left(\frac{dP'}{du} + \frac{R}{r}\frac{dP''}{du} + \frac{R^2}{r^2}\frac{dP'''}{du} + \ldots\right)$$

$$Y = -\frac{R^3}{r^3\sin u}\left(\frac{dP'}{d\lambda} + \frac{R}{r}\frac{dP''}{d\lambda} + \frac{R^2}{r^2}\frac{dP'''}{d\lambda} + \ldots\right)$$

$$Z = +\frac{R^3}{r^3}\left(2P' + \frac{3RP''}{r} + \frac{4R^2P'''}{r^2} + \ldots\right)$$

Auf der Erdoberfläche sind X und Y dieselben horizontalen Componenten, wie in Nr. 14; Z vertical und positiv, wenn es nach unten gerichtet ist, also erhält man für die Erdoberfläche, wo $R = r$ ist:

$$X = -\left(\frac{dP'}{du} + \frac{dP''}{du} + \frac{dP'''}{du} + \ldots\right)$$

$$Y = -\frac{1}{\sin u}\left(\frac{dP'}{d\lambda} + \frac{dP''}{d\lambda} + \frac{dP'''}{d\lambda} + \ldots\right)$$

$$Z = 2P' + 3P'' + 4P''' + \ldots.$$

20) Da nun jede $f(u,\lambda)$, die für alle λ von 0^0 bis 360^0 und u von 0^0 bis 180^0 endlich ist, in eine Reihe

$$P^0 + P' + P'' + \ldots.$$

entwickelt werden kann, deren allgemeines Glied $P^{(n)}$ der Differentialgleichung

$$0 = n(n+1)P^{(n)} + \frac{d^2P^{(n)}}{du^2} + \cot u\frac{dP^{(n)}}{du} + \frac{1}{\sin^2 u}\frac{d^2P^{(n)}}{d\lambda^2}$$

genügt, und zwar nur auf eine Weise und immer convergent, so ergeben sich folgende Resultate:

I. Die Kenntniß des Werthes V in allen Punkten der Erdoberfläche reicht hin, um daraus den allgemeinen Ausdruck von V für den ganzen unendlichen Raum außerhalb der Erdfläche abzuleiten, und somit auch die Bestimmung der X, Y, Z für den ganzen unendlichen Raum außerhalb der Erdfläche.

Wird V nur auf die Erdoberfläche bezogen, so wird $R = r$ und V in Nr. 17 wird:

$$V = R(P' + P'' + P''' + \ldots).$$

II. Die Kenntniß von X genügt, um alles in I. Verlangte zu erhalten.

III. Eben so reicht die Kenntniß des Y auf der ganzen Erde, verbunden mit

der des X in allen Punkten einer von einem Pole zum anderen laufenden Linie zur Begründung der vollständigen Theorie des Erdmagnetismus aus.

IV. Eben dies ist der Fall mit Z.

21) Diese X, Y, Z sind also viel geeigneter zur Grundlage der Theorie, als der gewöhnliche Ausdruck der magnetischen Kraft durch die drei Elemente der Intensität, Deklination und Inklination; die letztere Art — bei der Auffassung der Thatsachen zwar natürlich erscheinend — kann vielmehr unmittelbar gar nicht zur ersten Begründung der Theorie dienen, ehe sie nicht in die andere Form übersetzt ist. Brauchbarer zur Theorie ist daher eine graphische Darstellung der horizontalen Intensität, als der ganzen Intensität, die überdies aus jener, als der beobachteten, berechnet wird.

Später wird man sich lediglich auf Beobachtungen an der horizontalen Nadel beschränken können, was jetzt wegen Mangelhaftigkeit der Data noch nicht angeht.

22) Der Grad der Convergenz der Reihen für X, Y, Z und V läßt sich nicht a priori ableiten. Je weiter die Sitze der magnetischen Kräfte sich vom Mittelpunkte der Erde bis gegen die Oberfläche derselben erstrecken, um so langsamer ist die Convergenz und um so mehr Glieder sind daher zu berücksichtigen, wenn man einen gewissen Grad der Genauigkeit erreichen will. Führt man die Rechnung bis zu P^{IV}, so sind nicht weniger als 24 Coefficienten zu bestimmen und zu dieser Bestimmung sind die vollständigen Beobachtungen von nicht weniger als 8 Oertern erforderlich. Wegen der Weitläufigkeit dieses Weges, zumal unzuverlässige Beobachtungsstücke das Resultat verderben können, ist ein anderer zu versuchen.

23) Gauß schlägt nun einen Weg ein, der allerdings in seinen Resultaten nur als ein erster Versuch gelten kann. Hierbei wird die Kenntniß aller drei Elemente vorausgesetzt in Punkten, die auf einer hinreichenden Anzahl von Parallelkreisen so gruppirt sind, daß jeder Parallelkreis dadurch in eine hinlängliche Anzahl gleicher Stücke getheilt wird.

Wegen des Näheren müssen wir auf das Original verweisen.

24) Der eingeschlagene Weg ist nur ein erster Versuch; aber da eine scharfe Vergleichung der Resultate mit den Beobachtungen zeigen wird, ob derselbe nicht ganz mißlungen ist, so wird er jedenfalls neue Versuche vorbereiten helfen. Das Mißliche ist hierbei, daß man nicht auf unmittelbare Beobachtungen fußen kann, sondern eine graphische Darstellung zu Hülfe nehmen muß, da die Beobachtungsorte nicht gerade so liegen, wie es vorausgesetzt wird.

25) Der Versuch konnte erst zur Ausführung kommen, als die Karte von Sabine für die ganze Intensität erschien *), ferner Barlow's Deklinations-Karte **) und Horner's Inklinations-Karte ***). Die Rechnung wurde ausgeführt für je 12 Punkte auf 7 Parallelkreisen und bis zu Gliedern der vierten Ordnung fortgesetzt, so daß 24 Coefficienten zu bestimmen waren. Weiter zu gehen, war wegen der unzuverlässigen Data unmöglich.

*) Repert. of the British assoc. for the advanc. of scien. VII.; vergl. auch: An account of Experim. to determine the figure of the Earth. London 1825. p. 460.

**) Phil. Transact. 1833.

***) Gehler's Wörterb. N. B. Bd VI. Tab. XXIV.

26) Die 24 Coefficienten, welche die Elemente der Theorie des Erdmagnetismus bilden, sind nun folgende, wobei jedoch zu bemerken ist, daß die Bruchtheile eigentlich überflüssig sind, da nicht einmal bei den Einern auf Zuverlässigkeit zu rechnen ist, allein Gauß bemerkt, daß es von Wichtigkeit ist, daß die Beobachtungen mit einem und demselben bestimmten System von Elementen verglichen werden, und da war kein Grund vorhanden, an dem, was die Rechnung ergeben hatte, etwas zu verändern, weil durch Weglassung der Decimalbrüche für die Bequemlichkeit der Vergleichungsrechnungen gar nichts gewonnen sein würde. — Die Längen λ sind von Greenwich östlich genommen, und die Intensität ist tausend Mal größer gesetzt als bei Sabine, z. B. statt 1,372 in London 1372.

$g^{1,0} = +\ 925{,}782$	$g^{1,1} = +\ 89{,}024$	$g^{2,2} = +\ 0{,}493$
$g^{2,0} = -\ 22{,}059$	$g^{2,1} = -\ 144{,}913$	$g^{3,2} = -\ 73{,}193$
$g^{3,0} = -\ 18{,}868$	$g^{3,1} = +\ 122{,}936$	$g^{4,2} = -\ 45{,}791$
$g^{4,0} = -\ 108{,}855$	$g^{4,1} = -\ 152{,}589$	$g^{3,3} = +\ 1{,}396$
		$g^{4,3} = +\ 19{,}773$
		$g^{4,4} = +\ 4{,}127.$

$h^{1,1} = -\ 178{,}744$	$h^{2,2} = -\ 39{,}010$		
$h^{2,1} = -\ 6{,}030$	$h^{3,2} = -\ 22{,}766$		
$h^{3,1} = +\ 47{,}794$	$h^{4,2} = +\ 42{,}573$	$h^{4,3} = +\ 4{,}127$	
$h^{4,1} = +\ 64{,}112$	$h^{3,3} = -\ 18{,}750$	$h^{4,4} = +\ 3{,}175.$	

27) Die entwickelten Ausdrücke für V, X, Y und Z, aus denen man die Deklination δ, Inklination i, horizontale Intensität ω, ganze Intensität Ψ nach folgenden Formeln findet:

$$X = \omega \cos\delta,\ Y = \omega \sin\delta,\ \omega = \Psi \cos i,\ Z = \Psi \sin i,$$

sind nun folgende, wobei nur zu bemerken ist, daß $\cos u = e$ und $\sin u = f$ gesetzt ist:

$$\frac{V}{R} = -1{,}977 + 937{,}103\,e + 71{,}245\,e^2 - 18{,}868\,e^3 - 108{,}855\,e^4$$
$$+ (64{,}437 - 79{,}518\,e + 122{,}936\,e^2 + 152{,}589\,e^3)\,f.\cos\lambda$$
$$+ (-\ 188{,}303 - 33{,}507\,e + 47{,}791\,e^2 + 64{,}112\,e^3)\,f.\sin\lambda$$
$$+ (7{,}035 - 73{,}193\,e - 45{,}791\,e^2)\,f^2\cos 2\lambda$$
$$+ (-\ 45{,}092 - 22{,}766\,e - 42{,}573\,e^2)\,f^2\sin 2\lambda$$
$$+ (1{,}396 + 19{,}774\,e)\,f^3\cos 3\lambda$$
$$+ (-\ 18{,}750 - 0{,}178)\,f^3\sin 3\lambda$$
$$+ 4{,}127\,f^4\cos 4\lambda$$
$$+ 3{,}175\,f^4\sin 4\lambda$$

$$X = (937{,}103 + 142{,}490\,e - 56{,}603\,e^2 - 435{,}420\,e^3)\,f$$
$$+ (-\ 79{,}518 + 181{,}435\,e - 298{,}732\,e^2 - 368{,}808\,e^3 + 610{,}357\,e^4)\cos\lambda$$
$$+ (-\ 33{,}507 + 283{,}892\,e + 259{,}349\,e^2 - 143{,}383\,e^3 + 256{,}448\,e^4)\sin\lambda$$
$$+ (-\ 73{,}193 - 105{,}652\,e + 219{,}579\,e^2 + 183{,}164\,e^3)\,f.\cos 2\lambda$$
$$+ (-\ 22{,}766 + 175{,}330\,e + 68{,}098\,e^2 - 170{,}292\,e^3)\,f.\sin 2\lambda$$
$$+ (19{,}774 - 4{,}188\,e - 79{,}096\,e^2)\,f^2\cos 3\lambda$$
$$+ (-\ 0{,}178 + 56{,}250\,e + 0{,}716\,e^2)\,f^2\sin 3\lambda$$
$$- 16{,}508\,e\,f^3\cos 4\lambda$$
$$- 12{,}701\,e\,f^3\sin 4\lambda$$

$$
\begin{aligned}
Y = {} & (188{,}303 + 33{,}507\,e - 47{,}794\,e^2 - 64{,}112\,e^3)\cos\lambda \\
& + (64{,}437 - 79{,}518\,e + 122{,}936\,e^2 - 152{,}589\,e^3)\sin\lambda \\
& + (90{,}184 + 45{,}532\,e - 85{,}146\,e^2)\,f.\cos 2\lambda \\
& + (14{,}070 - 146{,}386\,e - 91{,}582\,e^2)\,f.\sin 2\lambda \\
& + (56{,}250 + 0{,}534\,e)\,f^3\cos 3\lambda \\
& + (4{,}188 + 59{,}322\,e)\,f^3\sin 3\lambda \\
& - 12{,}701\,f^3\cos 4\lambda \\
& + 16{,}508\,f^3\sin 4\lambda \\
Z = {} & - 24{,}593 + 1896{,}847\,e + 400{,}343\,e^2 - 75{,}471\,e^3 - 544{,}275\,e^4 \\
& + (79{,}700 - 107{,}763\,e + 491{,}744\,e^2 - 762{,}946\,e^3)\,f\cos\lambda \\
& + (-395{,}724 - 155{,}473\,e + 191{,}176\,e^2 + 320{,}560\,e^3)\,f.\sin\lambda \\
& + (34{,}187 - 292{,}772\,e - 228{,}955\,e^2)\,f^2\cos 2\lambda \\
& + (-147{,}439 - 91{,}064\,e + 212{,}865\,e^2)\,f^2\sin 2\lambda \\
& + (5{,}584 + 98{,}870\,e)\,f^3\cos 3\lambda \\
& + (-75{,}000 - 0{,}890\,e)\,f^3\sin 3\lambda \\
& + 20{,}635\,f^4\cos 4\lambda \\
& + 15{,}876\,f^4\sin 4\lambda.
\end{aligned}
$$

28) Zur leichteren Berechnung sind Hülfstafeln berechnet, deren Einrichtung darauf beruht, daß man den Componenten folgende Form gegeben hat:

$$
\begin{aligned}
X &= a^0 + a'\cos(\lambda + A') + \ldots + a^{(n)}\cos(n\lambda + A^{(n)}) + \ldots \\
Y &= b'\cos(\lambda + B') + \ldots + b^{(n)}\cos(n\lambda + B^{(n)}) + \ldots \\
Z &= c^0 + c'\cos(\lambda + C') + \ldots + c^{(n)}\cos(n\lambda + C^{(n)}) + \ldots
\end{aligned}
$$

29) Zur Vergleichung dieser Formeln mit den Beobachtungen werden Tafeln von 91 Punkten der Erde geliefert, entlehnt aus den bis 1838 erschienenen Karten. Leider sind die Beobachtungen nicht genau gleichzeitig.

30) Da die Uebereinstimmung allen billigen Erwartungen genügt, (der Unterschied in der beobachteten und berechneten Intensität ist z. B. nur an 10 Orten größer als 0,060 und nur an 2 Orten größer als 0,100), so kommt der Ausdruck $\frac{V}{R}$ wohl der Wahrheit nahe. Deshalb hat Dr. Goldschmidt eine Karte entworfen von dem Gange der numerischen Werthe von $\frac{V}{R}$, die wenigstens in ihrer ganzen Gestaltung keine wesentliche Aenderung erleiden dürfte.

Als Resultat stellt sich also heraus, daß das System von Linien gleicher Werthe von $\frac{V}{R}$ auf der Erdoberfläche wirklich den einfachsten Typus darstellt und daß in der That nur zwei magnetische Pole auf der Erde vorhanden sind. — Nach der Rechnung liegen diese Pole unter 73° 35′ n. Br. und 264° 21′ östl. L. von Greenwich mit einer ganzen Intensität = 1,701 und unter 72° 35′ s. Br. und 152° 30′ östl. Länge mit einer ganzen Intensität = 2,253. Ein durch beide Pole gehender größter Kreis schneidet den Aequator unter einem Winkel von 75° 35′ in 25° 46′ und 205° 46′ Länge. Die Verbindungssehne beider Pole überspannt einen Bogen von 161° 13′, und ein derselben paralleler Erddurchmesser schneidet die Erdoberfläche nördlich in 75° 52′ Br. und 299° 32′ L., südlich in 75° 52′ Br. und 119° 32′ L.

31) Der Verbindungssehne beider Pole irgend eine Bedeutung beizulegen, sie wohl gar magnetische Axe der Erde zu nennen, ist nicht zu billigen. Die magnetische Axe ist vielmehr *) eine gerade Linie, in Bezug auf welche das Moment des in der Erde enthaltenen Magnetismus ein Maximum ist. Die Richtung derselben würde mit der Verbindungssehne beider Pole einen Winkel von $2^0\ 5'$ bilden und von $77^0\ 50'$ n. Br. $296^0\ 29'$ östl. L. nach $77^0\ 50'$ s. Br. $116^0\ 29'$ östl. L. gehen; das magnetische Moment in Bezug auf dieselbe ergiebt sich $= 947{,}08\ R^3$ **). Es würden 8464 Trillionen einpfündige Magnetstäbe mit parallelen Axen erforderlich sein, um die magnetische Wirkung der Erde im äußeren Raume zu ersetzen, was bei gleichförmiger Vertheilung durch den ganzen körperlichen Raum der Erde 7,831 also beinahe 8 solche Magnetstäbe auf jedes Cubikmeter beträgt. Betrachten wir daher die Erde als einen wirklichen Magnet, so muß man durchschnittlich jedem $^1/_8$ Cubikmeter derselben eine so starke Magnetisirung beilegen, als ein solcher Magnetstab enthält.

32) Die Art der wirklichen Vertheilung bleibt unbestimmt; aber statt jeder beliebigen Vertheilung der magnetischen Flüssigkeiten innerhalb eines körperlichen Raumes kann allemal eine Vertheilung auf der Oberfläche des Raumes substituirt werden, so daß die Wirkung in jedem Punkte des äußeren Raumes genau dieselbe bleibt ***). Folglich kann aus unendlich vielen verschiedenen Vertheilungen der magnetischen Flüssigkeiten im Innern einerlei Wirkung im ganzen äußeren Raume abgeleitet werden. Ohne die wirkliche Vertheilung im Innern der Erde zu wissen, kann die fingirte auf der Erdoberfläche, da dieselbe eine Kugel ist, angegeben werden, und zwar wird die Dichtigkeit des magnetischen Fluidums in jedem Punkte der Erdoberfläche, d. h. das Quantum des magnetischen Fluidums, welches der Flächeneinheit entspricht, ausgedrückt durch

$$\frac{1}{4\pi}(3\,P' + 5\,P'' + 7\,P''' + 9\,P^{IV} + \ldots).$$

In dem Folgenden bespricht Gauß, was zur Vervollständigung der Theorie noch zu thun sei, und stellt an die Spitze die Forderung möglichst vieler genauer Beobachtungen aller drei Elemente. Durch Vergleichung der beobachteten und berechneten Resultate werde die aufgestellte Theorie sich immer mehr bewähren. Bestimmungen, wie sie von ihm gemacht worden, würden in der Folge wiederholt werden müssen; dadurch würde man die Veränderungen kennen lernen, welche mit der Erde in Beziehung auf ihren magnetischen Zustand im Ganzen, eben so wie im Einzelnen vorgehen, und so würde man zu einer Geschichte des Erdmagnetismus gelangen, ein Ziel, was ohne Theorie durch bloße Erfahrung zu erreichen unmöglich sei, weil bloße Erfahrungen zwar die Veränderungen vieler einzelner Wirkungen, nie aber die Veränderungen, welche das Ganze erleidet, kennen lehren.

Der Atlas des Erdmagnetismus von Gauß und Weber nach den Elementen der Theorie entworfen, Leipzig 1840, eröffnet die Reihe von Atlanten, welche in angemessenen Zwischenzeiten erscheinen sollen, um von nun

*) Vergl. Intens. vis magn. §. 5.
**) Vergl. Intens. vis magn. §. 21.
***) Intens. vis magnet. §. 2.

an die Grunddata der Geſchichte des Erdmagnetismus vollſtändig und überſichtlich vor Augen zu legen. Weber hat die Erklärung des Atlas verfaßt, die alles vollſtändig giebt, was zum Verſtändniß der Karten und zur Beurtheilung des Nutzens, welchen ſie leiſten können, nöthig iſt. Einſicht, ja Studium dieſes Atlas iſt unerläßlich, um den vorliegenden Gegenſtand gehörig zu würdigen und den richtigen Standpunkt für ſich zu gewinnen. Hier müſſen wir uns damit begnügen, auf denſelben hinzuweiſen, und es ſei nur bemerkt, daß der Atlas aus 9 Karten, jede in 3 Abtheilungen, beſteht.

1) Vollſtändige Darſtellung des Syſtems der Wirkungen des Erdmagnetismus auf der ganzen Erdoberfläche durch graphiſche Darſtellung:

a) der Deklination, Inklination und ganzen Intenſität;

b) der drei rechtwinkeligen Componenten der magnetiſchen Kraft;

c) der horizontalen Intenſität in Verbindung mit der Darſtellung der Deklination und verticalen Intenſität.

2) Einfache graphiſche Darſtellung von der gemeinſamen Urſache aller jener Wirkungen, indem eine Karte die ideelle Vertheilung des Magnetismus auf der Erdoberfläche vor Augen bringt.

3) Die einfachſten Beziehungen zwiſchen Urſache und Wirkung und letzterer unter einander durch graphiſche Darſtellung der Werthe von $\frac{V}{R}$ in einer Karte, die noch weiter als die erſte ausgeführt iſt.

Verbindet man auf einer Karte die Orte unter einander, welche zu gleicher Zeit dieſelbe Deklination haben, ſo erhält man (Art. Abweichung, magnetiſche Bd. I. S. 48) die Linien gleicher Abweichung oder die iſogoniſchen Linien. Im Allgemeinen iſt die Deklination in Europa weſtlich und in Amerika und dem nördlichen Aſien öſtlich, und zwar in der Weiſe, daß bei einer Reiſe von der Oſtſee aus nach Weſten man eine immer größere weſtliche Deklination finden würde, bis in dem atlantiſchen Oceane zwiſchen Irland und Nordamerika ein Maximum ſich einſtellt; von hier an wird die Deklination wieder kleiner, und in Nordamerika gelangt man zu Gegenden, in welchen die Nadel genau nordwärts gerichtet iſt; weiter weſtlich fortſchreitend beobachtet man eine öſtliche Deklination, anfangs immer größer werdend, bis dieſelbe im ſtillen Ocean ebenfalls ein Maximum erreicht, indem ſie bei fernerem Annähern an die aſiatiſche Küſte wieder kleiner wird, bis man im Inneren von Aſien ebenfalls zu Gegenden ohne Abweichung kommt von denen dann weſtlich die Nadel wieder eine weſtliche Deklination zeigt, die bei weſtlichem Fortſchreiten immer größer wird. Dieſe Verſchiedenheit in der Richtung der Magnetnadel zeigt ſich im Allgemeinen in den verſchiedenen Breiten der Erde.

Verlängert man die magnetiſchen Meridiane verſchiedener Orte der Erde bis zu ihrem Durchſchnitte, ſo fallen die Durchſchnittspunkte nicht in einem Punkte zuſammen, wie dies bei den aſtronomiſchen Meridianen der Fall iſt. Nur in der Nähe der Magnetpole der Erde iſt eine derartige Convergenz, daß die verlängerten magnetiſchen Meridiane in einem Punkte zuſammentreffen, und ein ſolcher Punkt

iſt eben ein Pol. Hanſteen hat die Lage des im Norden Amerikas befindlichen Poles durch ſorgfältige Vergleichung der Beobachtungen zu ermitteln geſucht, und der Seefahrer Roß hat wirklich bei ſeiner in den Jahren 1829 bis 1833 in die nördlichſten Gegenden Amerikas unternommenen Entdeckungsreiſe in der Nähe der Repulſebay unter 70° 5′ 17″ n. Br. und 96° 45′ 18″ weſtl. L. von Greenwich dieſen Pol gefunden. Die Magnetnadel durchläuft bei einer Reiſe um dieſen Punkt die ganze Windroſe, ſo daß nördlich von demſelben das Ende der Nadel, welches bei uns nordwärts gerichtet iſt, ſüdwärts zeigt. In der unmittelbaren Nähe des Poles hatte die Magnetnadel ihre Richtkraft gänzlich verloren; erſt in der Entfernung von mehreren Meilen zeigte ſie wieder das Beſtreben eine beſtimmte Stellung einzunehmen.

Der im Süden der Erde liegende magnetiſche Pol iſt auf der antarctiſchen Expedition, welche 1839 bis 1842 James Clark Roß ausführte, im Süden der Oſtküſte Neuhollands — allerdings ohne denſelben ſelbſt zu erreichen — in etwa 75° ſ. Br. und 154° öſtl. Länge ermittelt worden, ſo daß ſich mithin die beiden Pole nicht diametral gegenüber liegen.

Die Punkte, an denen die Magnetnadel genau nach Norden und Süden gerichtet iſt, liegen auf der Linie ohne Deklination. Es geht dieſelbe durch die beiden Erdpole und die beiden magnetiſchen Pole und theilt die Erdoberfläche in zwei Theile, in deren einem, das öſtliche Amerika, den atlantiſchen Ocean, Europa und Afrika enthaltenden, weſtliche Deklination iſt, während in dem anderen, faſt ganz Aſien, den ſtillen Ocean und den größten Theil Amerikas enthaltenden, öſtliche Deklination ſtattfindet. In dem nördlichen Aſien, zwiſchen dem Werchojanſker Gebirge, Jakutſk und dem nördlichen Korea bilden die iſogoniſchen Linien ein merkwürdiges in ſich geſchloſſenes Syſtem, in welchem die Deklinationen von außen nach innen zunimmt. In der Südſee, zwiſchen 20° nördlicher und 45° ſüdlicher Breite, faſt im Meridian von Pitcairn und den Marqueſasinſeln, wiederholt ſich dieſe eiförmige Geſtaltung regelmäßiger und in einem größeren Umfange, und zwar mit abnehmender Deklination nach innen hin. Ob locale Verhältniſſe dieſe ſonderbare Geſtaltung veranlaſſen oder nicht, wird erſt die Folge zeigen, wo ſich herausſtellen muß, ob dieſe Syſteme ſich fortbewegen oder ſtationär ſind.

Wegen der ſecularen, jährlichen, monatlichen und täglichen Variationen vergl. Art. Abweichung, magnetiſche Bd. I. S. 82 ff.; wegen ihrer Beſtimmung Art. Magnetometer. Hier mögen nur einige allgemeine Reſultate eine Stelle finden.

Aus Beobachtungen Caſſini's ſeit 1786 zu Paris ergab ſich, daß zwiſchen dem Frühlingsäquinoctium und dem Sommerſolſtitium das Nordende der Magnetnadel ſich weniger, und den neun übrigen Monaten mehr weſtlich ſtellte. Gilpin fand dies Geſetz beſtätigt an Beobachtungen zu London um das Jahr 1800; aber die Amplitude der Veränderung fiel geringer aus. Arago hat hieraus und aus Beobachtungen Beaufoy's in England um das Jahr 1819 und Bowditch's zu Salem in Nordamerika folgende Schlüſſe gezogen: Wenn die Deklination weſtlich iſt und von Jahr zu Jahr zunimmt, ſo hat ſie eine jährliche Veränderung und bewegt ſich vom April bis Juli gegen Oſten; die Amplitude dieſer Oscillation nimmt deſto mehr ab, je langſamer die ſeculäre Bewegung wird; ſie verſchwindet, wenn die Deklination die Grenze ihrer weſtlichen Bewegung erreicht; und wenn endlich die Deklination von Jahr zu Jahr abnimmt, ſo

bemerkt man wieder eine jährliche Oscillation, aber die Bewegung gegen Osten findet vom September bis December statt.

In Betreff der täglichen Veränderungen scheint hervorzugehen, daß in Europa sich das Nordende alle Tage von dem Aufgange der Sonne bis eine Stunde nach Mittag gegen Westen bewegt und dann gegen Osten zurückkehrt. Im Sommer ist die Amplitude dieser täglichen Schwankungen größer, als im Winter. Zwischen den Wendekreisen sind die täglichen Variationen kleiner, als in Europa. Auf der südlichen Halbkugel erfolgen die Variationen im entgegengesetzten Sinne. Arago*) hat darauf aufmerksam gemacht, daß es eine — bis jetzt allerdings noch nicht aufgefundene — Region der Erde geben müsse, wahrscheinlich zwischen dem terrestrischen und magnetischen Aequator, in welcher keine stündliche Veränderung der Deklination zu bemerken ist. Nach Lamont**) hat die tägliche Variation der Deklination eine 10jährige Periode. Dies erinnerte Wolf an die Schwabe'sche Sonnenfleckperiode und führte ihn zu der Entdeckung, daß diese Variationen genau dieselbe Periode innehalten, so daß, wenn für die Sonnenflecke ein Maximum oder Minimum eintritt, gerade auch für die Deklinationsvariationen ein Maximum oder Minimum statt hat. Diese Periode ist der Art, daß in jedem Jahrhundert die Jahre 0,00; 11,11; 22,22 ... Minima vorstellen. Der Zeitraum zwischen einem Minimum und dem folgenden Maximum ist variabel und beträgt durchschnittlich 5 Jahr. Die kleinen Unregelmäßigkeiten, welche sich bei den Sonnenflecken zeigen, kommen genau eben so bei den magnetischen Variationen vor***). Dieselbe Periode hat sich dann auch nach Lamont****) für die tägliche Bewegung der Horizontalintensität ergeben. Auch nach Secchi†) sind die täglichen Schwankungen sowohl im Sinne der horizontalen und verticalen magnetischen Richtung, als auch in der Größe der absoluten magnetischen Kraft von einem directen magnetischen Einflusse der Sonne und ihrer Lage zu dem magnetischen Meridiane des Beobachtungsortes abhängig, wie allerdings schon Sabine††) ausgesprochen hatte.

Ueber die Inklination handelt der Art. Neigung der Magnetnadel.

Deklination und Inklination beziehen sich auf Richtung der magnetischen Kraft an den verschiedenen Orten der Erde; die Intensität betrifft die Größe dieser Kraft. Es ist nämlich die Frage zu erledigen, ob diese Kraft auf der Erde überall von derselben Stärke ist, oder nicht. So wie man durch Pendelschwingungen Aufschluß gewonnen hat über die Stärke der Schwerkraft von verschiedenen Orten der Erde (vergl. Art. Pendel und Schwere), eben so hat man die vorliegende Frage zu beantworten gesucht durch Beobachtungen der Schwingungen der Magnetnadel, indem man die Schwingungen zählte, welche dieselbe Magnetnadel an verschiedenen Orten in gleichen Zeiten vollendete. Hierzu kann man sich

*) Annuaire 1836. p. 284 und 1840. p. 330—338.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXXIV. S. 572.
***) Monatsbericht der Berl. Acad. 1852. Nov. S. 616.
****) Pogg. Ann. Bd. LXXXVI. S. 88; vergl. auch Bd. LXXXIV. S. 582 und Bd. LXXXV. S. 418; Bd. LXXXVIII. S. 568. Astron. Nachrichten Nr. 820.
†) Instit. 1854. p. 359. Arch. ph. nat. T. XXVII. p. 192; T. XXVIII. p. 13.
††) Instit. 1854. p. 391. Phil. Magaz. (4) T. VIII. p. 146.

ſowohl einer Inklinations-, als auch einer Deklinationsnadel bedienen; wegen der Schwierigkeiten aber, welche ſich bei Anfertigung eines genauen Inklinatoriums (ſ. d. Art.) zeigen, iſt die Benutzung der letzteren die gewöhnlichere.

Läßt man eine Inklinationsnadel im magnetiſchen Meridiane ſchwingen und nennt man die magnetiſche Kraft der Erde M, ſo iſt nach den Geſetzen der Pendelbewegung

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{2M}},$$

wo t die Schwingungszeit und l die halbe Länge der Nadel bedeuten; folglich iſt $M = \frac{\pi^2 l}{2t^2}$, oder, da die Schwingungszahlen ſich umgekehrt verhalten, wie die Schwingungszeiten, d. h. $T : t = n : N$,

$$M = \frac{n^2 \pi^2 l}{2};$$

alſo verhalten ſich, wenn an zwei verſchiedenen Orten die Größe der magnetiſchen Kraft verſchieden, M und M', iſt, dieſe Kräfte wie die Quadrate der Schwingungszahlen, d. h.

$$M : M^1 = n^2 : n_1{}^2.$$

Bedient man ſich einer Deklinationsnadel, ſo findet man:

$$M = \frac{\pi^2 l}{2 t^2 \cos i} = \frac{n^2 \pi^2 l}{2 \cos i}$$

und alſo

$$M : M_1 = \frac{n^2}{\cos i} : \frac{n_1{}^2}{\cos i_1},$$

wo i die Inklination bedeutet.

Iſt nämlich m der auf die Deklinationsnadel wirkende Theil der magnetiſchen Kraft der Erde, ſo iſt

$$m = M \cdot \cos i.$$

Bei einem zu dieſem Zwecke angeſtellten Verſuche benutzt man gewöhnlich einen kleinen, an einem umgedrehten Seidenfaden horizontal aufgehängten Magnetſtab. Mittelſt eines Eiſenſtücks zieht man denſelben aus dem magnetiſchen Meridiane, entfernt dann das Eiſen möglichſt weit und zählt die Schwingungen, z. B. während einer Minute. Zählt man die Secunden, welche der Magnetſtab zu einer beſtimmten Anzahl Schwingungen braucht, ſo rechnet man ſelbſtredend nach der Proportion:

$$M : M_1 = t_1{}^2 \cos i_1 : t^2 \cdot \cos i.$$

Daß man die Schwingungen ſtreng genommen auf den luftleeren Raum reduciren müſſe, darauf hat namentlich Lamont aufmerkſam gemacht und mit Kuhn darauf bezügliche Unterſuchungen angeſtellt *). Setzte man die Schwingungsdauer im leeren Raume = T und unter dem Luftdrucke p Par. Zoll = $T\left(1 + \frac{p}{28}\alpha\right)$, ſo ergab ſich für α im Mittel 0,00033, und es folgte über-

*) Pogg. Ann. Bd. LXXI. S. 124.

dies, daß die den Magnet umgebende Luft bis auf 4 Millimeter von seiner Oberfläche an dieser Oberfläche adhärirt und mit geschwungen haben mußte.

Es versteht sich von selbst, daß der Magnetstab keine Aenderung an seiner eigenen Stärke erleiden darf. Deshalb kehrt man an die Orte der früheren Beobachtungen zurück und überzeugt sich, ob das Resultat ungeändert geblieben ist. Außerdem sind Intensitätsbeobachtungen, die mit demselben Magnetstabe angestellt sind, nur dann unter einander vergleichbar, wenn zur Zeit der Beobachtung die Temperatur dieselbe war, weshalb, um anderenfalls die nöthige Correction vornehmen zu können, gleichzeitige Temperaturbeobachtungen erforderlich sind. Kupffer hat die hierzu nöthigen Regeln und Tafeln gegeben *). Nach ihm wird der vorübergehende Einfluß der Wärme corrigirt, wenn man für jeden Grad R. von der Zeit, welche 200 Schwingungen erfordern (etwa 40′ 12″) 0,859″ abzieht. — Stellt man die Versuche mit verschiedenen Magnetstäben an, so muß man, um die Resultate vergleichbar zu machen, das Verhältniß der magnetischen Intensitäten dieser Magnetstäbe kennen, oder das Verhältniß der Quadrate der Schwingungszahlen, welche sie an demselben Orte und zu derselben Zeit in Zeit von gleich viel Secunden machen. Zu vergleichen ist übrigens wegen der genaueren Apparate Art. Magnetometer.

Im Allgemeinen hat man gefunden, daß die Intensität des Erdmagnetismus von dem magnetischen Aequator nach den Polen hin zunimmt; jedoch ist sie weder an allen Punkten des magnetischen Aequators gleichgroß, so daß die Linie geringster Intensität mit demselben nicht zusammenfällt, noch an den Polen am stärksten. Die Linien, welche Orte gleicher Intensität verbinden, heißen isodynamische. Dieselben laufen weder mit dem magnetischen, noch mit dem geographischen Aequator parallel, sondern ihre Gestaltung ist eine eigenthümliche.

Das Gesetz von der im allgemeinen mit der magnetischen Breite zunehmenden Intensität hat A. v. Humboldt zuerst gefunden **). Er beobachtete in den Jahren 1799 bis 1803, daß dieselbe Nadel, welche in 10 Minuten in Paris 245, in der Havana 246, in Mexico 242 Schwingungen vollbrachte, innerhalb derselben Zeit zu San Carlos del Rio Negro (1° 53′ n. Br., 80° 54′ westl. L.) 216, auf dem magnetischen Aequator in Peru (7° 1′ südl. Br., 80° 40′ westl. L.) nur 211, in Lima (12° 2′ südl. Br.) wieder 219 Schwingungen zeigte. Er fand also, wenn man die Intensität auf dem magnetischen Aequator in der peruanischen Andeskette zwischen Micuipampa und Caramarca = 1 setzt, dieselbe zu Paris = 1,3482, in Mexico = 1,3155, in San Carlos del Rio Negro = 1,0480, in Lima = 1,0773. — Man hat die Gewohnheit beibehalten, in allen magnetischen Intensitäts-Tafeln, welche in Deutschland, England und Frankreich erschienen sind, die irgend wo auf dem Erdkörper beobachteten Schwingungen auf das Maß der Kraft zu reduciren, welches A. v. Humboldt auf dem magnetischen Aequator im nördlichen Peru gefunden hatte. Da es jedoch nöthig ist, die magnetische Erdkraft unabhängig zu machen von der zufälligen und veränderlichen Intensität der Magnete, so hat man auf Mittel gesonnen, die magnetische Erdkraft

*) Pogg. Ann. Bd. XVII. S. 408.

**) Kosmos. Bd. I. S. 432.

absolut zu messen. Poisson *) hat sich zuerst damit beschäftigt; am vollständigsten ist jedoch die Lösung Gauß gelungen **).

Die meiste Thätigkeit in Bestimmung der Intensität hat seit 1819 Edward Sabine entwickelt, der mit derselben Nadel am amerikanischen Nordpole, in Grönland, in Spitzbergen, an den Küsten von Guinea und in Brasilien Beobachtungen angestellt hat und überdies alles darauf Bezügliche sammelte und ordnete. Sabine fand in der Nähe des magnetischen Nordpols in Melville's Insel (74° 27′ n. Br.) nur 1,624; nach James Clark Roß ist die Intensität nahe bei dem magnetischen Südpole 2,052. (73° 47′ südl. Br., 169° 30′ östl. L.). Dies ist der größte bis jetzt beobachtete Werth, während der geringste 0,706 von Erman unter 19° 59′ südl. Br. und 37° 24′ westl. L. beobachtet wurde. Dies Minimum und Maximum stehen in den Verhältnissen 1 : 2,906, während die Schwere unter dem geographischen Aequator sich zu der am geographischen Pole wie 1 : 1,005 verhält. Die Linie der geringsten Intensität begann für das Jahr 1825 unterhalb Trinidad in 30° w. L. v. Gr. und 22° s. Br., lief durch 20° w. L. und 24°,5 s. Br., schnitt unter 18°,5 w. L. in den Parallel 25°, senkte sich etwas unter diesen herab, bis sie aufwärts gehend ihn in 13° w. L. abermals schnitt und dann durch 10° w. L., 24°,5 s. Br. und 5° w. L., 23°,5 s. Br. bis 0° L., 21°,5 s. Br. gelangte ***).

Ueber das Verhältniß der Intensität bei einer Erhebung über die Erdoberfläche hat Kupffer ****) bei einer Besteigung des Elbrus in einer Höhe von ungefähr 15400 Par. Fuß über der Meeresfläche Beobachtungen angestellt und eine Abnahme von 0,01 Sec. auf 24 Secunden Schwingungszeit für jede 1000 Fuß Erhebung gefunden.

Genaue Intensitätsbeobachtungen gehören, wie sich aus dem Vorstehenden ergiebt, erst der neuesten Zeit an. Ueber Veränderungen derselben läßt sich daher noch nichts Genaues feststellen, doch sprechen die Beobachtungen, wenigstens im mittleren Europa, eben so für eine Abnahme der Intensität, wie der Inklination.

Lamont hat, da die Vertheilung der magnetischen Kraft an der Erdoberfläche jetzt eine der wichtigsten physikalischen Untersuchungen bildet, eine provisorische Darstellung des Laufs der magnetischen Curven in 6 Charten gegeben *****). Die erste Charte giebt die Verhältnisse der magnetischen Deklination; die 2. die der horizontalen Intensität; die 3. die der Inklination für Deutschland und einen Theil der angrenzenden Länder. Auf allen drei Charten geht die Hauptlinie durch München. Die drei letzten Charten geben die Verhältnisse, respective der Deklination, Intensität und Inklination speciell für Bayern. Der aus 4 Abschnitten bestehende Text enthält im dritten 13 den Charten zu Grunde liegende Tabellen, von denen die dreizehnte die magnetischen Constanten für 1850 für 433 Orte giebt. Folgendes ist ein Auszug daraus †).

*) Pogg. Ann. Bd. XVIII. S. 227.

**) Vergl. Dove's Revert. der Physik. Bd. II. S. 169 und oben die Theorie von Gauß N. 27.

***) Phil. Transact. 1842. P. I. p. 9.

****) Schweigg. Journ. LXIII. S 79. Ann. de Chim. et de Phys. T. XLII. p. 105.

*****) Magnetische Charten von Deutschland und Bayern nach den neuen bayerischen und österreichischen Messungen, unter Benutzung einiger älterer Bestimmungen. München 1854.

†) Jahn, Unterhaltungen im Gebiete der Astron., Geogr. und Meteorologie. 8. Jahrg. 1854. S. 299.

Magnetiſche Conſtanten, reducirt auf das Jahr 1850.

Ort	Oeſtl. Länge v. Ferro	Nördl. Breite	Weſtl. Deklination	Horiz. Intenſität	Inklination
Adelsberg	31° 54′	45° 46′	13° 56′,2	2,0791	62° 43′,3
Admont	32 8	47 35	14 14,4	2,0084	63 59,5
Agram	33 40	45 48	13 34,5	2,0951	62 24,6
Algier	20 44	36 47	16 43,0	2,3975	56 57,0
Alt-Arad	38 59	46 11	10 53,0	2,1207	56 26,0
Altheim	30 51	48 15	15 10,4	1,9605	64 43,7
Altöttingen	30 20	48 13	15 18,0	1,9545	64 50,5
Amberg	29 32	49 27	15 59,1	1,8998	65 53,0
Arnſtein	27 37	49 58	16 54,5	1,8676	66 29,4
Aſchaffenburg	26 51	49 58	17 28,6	1,8550	66 43,4
Augsburg	28 34	48 22	16 15,0	1,9367	65 14,9
Bamberg	28 32	49 53	16 24,6	1,8733	66 19,6
Bayreuth	29 12	49 57	16 16,8	1,8728	66 18,6
Belluno	29 53	46 8	14 35,7	2,0458	63 18,0
Berlin	31 3	52 30	15 20,8	1,7901	67 44,8
Biſtritz	42 10	47 8	9 53,0	2,1101	62 36,1
Bludenz	27 25	47 9	16 39,0	1,9818	64 28,9
Bodenbach	31 52	50 46	14 55,7	1,8563	66 19,1
Botzen	28 58	46 30	15 47,5	2,0193	63 46,4
Bregenz	27 21	47 30	16 39,6	1,9656	64 47,8
Brescia	27 51	45 32	16 15,2	2,0574	63 8,5
Bruck an der Mur	32 57	47 25	13 52,6	2,0172	63 50,1
Brünn	34 17	49 11	13 47,9	1,9327	65 3,5
Brüſſel	22 2	50 51	20 40,7	1,7708	67 51,8
Carlowitz	37 37	45 11	11 6,5	2,1971	61 0,7
Carlsruhe	26 5	49 0	17 30,3	1,8908	66 8,4
Carlſtadt	33 15	45 29	13 49,1	2,0992	62 13,1
Cattaro	36 19	42 25	12 2,1	2,2794	59 22,8
Como	26 44	45 48	16 58,0	2,0265	63 39,0
Cracau	37 27	50 4	11 33,0	1,9383	65 23,9
Cremona	27 41	45 8	16 11,1	2,0760	62 55,1
Culmbach	29 9	50 6	16 15,4	1,8665	66 25,3
Czaslau	33 2	49 57	14 2,3	1,9174	65 19,8
Czernowitz	43 41	48 17	9 20,5	2,0709	63 20,2
Darmſtadt	26 19	49 52	17 9,9	1,8201	66 59,4
Dillingen	28 9	48 35	16 27,6	1,9268	65 25,6
Donauwerth	28 27	48 43	16 20,5	1,9220	65 32,9
Durlach	26 9	49 0	17 28,2	1,8929	66 7,0
Erlau	38 3	47 53	11 33,5	2,0468	63 30,6
Eſſeig	36 22	45 32	12 21,3	2,1215	61 50,1
Fiume	32 3	45 19	14 23,8	2,1004	62 24,8
Freiburg	25 31	48 10	17 39,3	1,9340	65 28,4

Digitized by Google

Ort	Oestl. Länge v. Ferro	Nördl. Breite	Westl. Deklination	Horiz. Intensität	Inklination
Freising	29° 24′	48° 24′	15° 47′,5	1,9418	65° 10′,2
Fünfkirchen	35 55	46 4	12 39,7	2,0986	62 17,8
Füssen	28 22	47 34	16 15,9	1,9707	64 40,4
Gastein	30 45	47 10	15 8,9	2,0157	63 58,1
Gmünd	31 10	46 54	15 11,2	2,0299	63 42,2
Gorz	31 18	45 56	14 6,7	2,0661	62 56,2
Göttingen	27 36	51 32	17 9,2	1,7989	67 21,7
Gratz	33 8	47 4	13 54,4	2,0327	63 28,9
Gunzenhausen	28 25	49 7	16 28,3	1,9054	65 47,2
Haag	29 50	48 10	15 35,4	1,9529	64 55,2
Heidelberg	26 21	48 39	17 26,7	1,8797	66 19,9
Hermannstadt	41 53	45 17	9 39,6	2,1789	61 16,9
Hersbruck	29 5	49 31	16 11,7	1,8955	65 59,1
Hohenpeissenberg	28 41	47 48	16 10,0	1,9642	64 47,6
Homburg	25 1	49 19	18 9,4	1,8707	66 28,7
Iglau	33 18	49 25	13 55,3	1,9301	65 15,7
Immenstadt	27 53	47 33	16 32,3	1,9680	64 45,8
Imst	28 20	47 14	16 13,4	1,9819	64 22,6
Ingolstadt	29 5	48 46	15 59,9	1,9092	65 38,5
Innsbruck	28 59	47 16	16 56,4	1,9842	64 13,6
Ischel	31 14	47 43	15 4,1	1,9802	64 26,2
Kaiserslautern	25 25	49 28	17 56,1	1,8685	66 32,3
Karlsburg	41 19	46 4	9 40,7	2,1630	61 36,5
Kaschau	38 59	48 41	11 5,9	2,0097	64 7,4
Kehl	25 29	48 34	16 52,1	1,9070	65 47,8
Kesmark	38 9	49 8	11 30,5	1,9846	64 39,4
Klagenfurt	31 58	46 37	14 23,6	2,0370	63 23,8
Klattau	31 2	49 24	15 18,0	1,9055	65 6,3
Klausenburg	41 20	46 46	9 58,4	2,1121	62 20,1
Kommotau	31 5	50 27	15 8,6	1,8580	66 2,3
Komorn (Szöny)	35 52	47 45	12 28,7	2,0289	63 40,0
Königsberg	38 10	51 43	11 19,0	1,7708	68 39,9
Kremsmünster	31 48	48 3	14 45,4	1,9719	64 36,9
Landeck	28 11	47 8	16 21,8	1,9908	64 20,6
Landsberg	28 33	48 3	16 14,7	1,9497	65 1,4
Landshut	29 48	48 32	15 42,4	1,9392	65 12,1
Laufen	30 36	47 56	15 17,2	1,9646	64 43,2
Leipzig	30 2	51 20	15 41,8	1,8301	67 10,5
Leutomischl	33 59	49 53	13 31,9	1,9248	65 19,6
Lindau	27 20	47 33	16 52,5	1,9608	64 44,6
Linz	31 58	48 18	14 48,4	1,9671	64 36,1
London	22 26	51 31	20 31,5	1,7307	68 48,0
Ludwigshafen	26 6	49 29	17 33,7	1,8697	66 35,1
Mannheim	26 9	49 29	17 31,0	1,8692	66 30,0

Ort	Oestl. Länge v. Ferro	Nördl. Breite	Westl. Deklination	Horiz. Intensität	Inklination
Mantua	28° 27′	45° 9′	15° 31′,4	2,0795	62° 54′,3
Marburg (Oestr.) . .	33 23	46 35	13 32,6	2,0480	63 11,9
Marburg	26 26	50 49	17 40,4	1,8242	67 17,8
Maros-Vasarhely . .	42 18	46 32	10 10,7	2,1304	62 14,6
Meersburg	26 57	47 41	17 1,2	1,9546	65 3,9
Memmingen . . .	27 50	48 0	16 34,5	1,9500	65 2,7
Meran	28 48	46 40	15 58,9	2,0138	63 52,8
Mindelheim . . .	28 9	48 3	16 26,9	1,9500	65 1,2
Munkacz	40 27	48 26	10 16,8	2,0338	63 38,8
München	29 16	48 9	15 53,9	1,9523	64 59,5
Nagy-Banya . . .	41 78	47 39	9 13,5	2,0941	62 50,9
Neuburg a. d. Donau	28 59	48 45	15 56,4	1,9246	65 24,9
Neuhaus	32 39	49 8	14 14,9	1,9395	64 54,8
Neustadt a. d. H. . .	25 48	49 22	17 46,0	1,8701	66 27,1
Nürnberg	28 43	49 27	16 19,5	1,9017	65 54,8
Ofen	36 43	47 29	12 20,4	2,0429	63 15,9
Offenburg	25 38	48 28	17 43,0	1,9122	65 43,3
Olmütz	34 55	49 36	13 8,8	1,9307	65 18,1
Padua	29 32	45 24	15 11,3	2,0736	62 52,2
Paris	20 0	48 50	20 35,8	1,8577	66 40,8
Passau	31 8	48 34	15 8,2	1,9451	65 6,1
Pforzheim	26 21	48 54	17 29,6	1,8984	66 9,4
Pirmasenz	25 17	49 12	17 59,1	1,8727	66 29,0
Pisek	31 49	49 19	14 48,1	1,9143	65 1,3
Prag	32 5	50 5	14 38,3	1,8911	66 5,2
Preßburg	34 44	48 9	13 22,0	2,0016	63 59,0
Przemysl	40 30	49 47	9 35,6	1,9809	64 48,9
Ragusa	35 41	42 38	12 17,6	2,2620	59 29,4
Reichenau	33 56	50 11	13 44,4	1,8997	65 30,1
Reichenberg . . .	32 44	50 46	14 42.5	1,8635	66 8,1
Rom	30 8	41 54	14 31,0	2,2459	59 38,0
Rothenburg . . .	27 51	49 23	16 44,3	1,8922	66 2,0
Rovigo	29 26	45 4	15 3,7	2,0864	62 37,8
Salzburg	30 42	47 48	15 18,5	1,9703	64 38,6
Schärding	31 4	48 27	15 8,4	1,9573	64 43,1
Schäsburg	42 32	46 13	10 15,3	2,1605	61 43,0
Schemnitz	36 35	48 27	12 23,3	2,0084	64 3,3
Schweinfurt . . .	27 54	50 3	16 50,8	1,8659	66 32,2
Senftenberg . . .	34 7	50 5	13 34,7	1,9058	65 45,3
St. Johann . . .	30 0	47 32	15 20,2	1,9849	64 23,6
Stockach	26 39	47 51	17 12,7	1,9432	65 14,9
Straubing	30 14	48 52	16 30,8	1,9288	65 22,7
Suczawa	43 59	47 38	8 45,5	2,0985	62 43,6
Szatmar	40 36	47 47	9 40,2	2,0607	63 17,1

Ort	Oestl. Länge v. Ferro	Nördl. Breite	Westl. Deklination	Horiz. Intensität	Inklination
Szegedin	37° 48′	46° 15′	11° 21′,0	2,1057	62° 24′,1
Szöny (Komorn) . .	35 48	47 45	12 28,7	2,0289	63 40,0
Tarnow	38 41	50 1	11 13,9	1,9523	65 23,2
Temesvar	38 52	45 5	10 50,7	2,1349	61 40,0
Teplitz	31 27	50 39	14 56,8	1,8591	66 15,3
Teschen	36 17	49 45	12 31,7	1,0481	64 55,7
Traunstein	30 18	47 52	15 16,9	1,9684	64 42,5
Trient	28 46	46 3	15 50,9	2,0426	63 17,0
Triest	31 26	45 39	14 24,4	2,0829	62 39,6
Troppau	35 33	49 56	12 41,6	1,9338	65 20,7
Turin	25 22	45 4	17 3,9	2,0442	63 26,1
Ulm	27 40	48 25	16 41,1	1,9331	65 23,2
Venedig	29 59	45 26	14 4,0	2,0740	62 50,3
Verona.	28 38	45 26	15 37,5	2,0647	63 4,5
Vicenza	29 12	45 32	15 39,1	2,0649	63 1,6
Weißkirchen . . .	39 5	44 54	11 7,6	2,1761	60 55,1
Wien	34 3	48 13	13 31,3	1,9940	64 26,1
Wiliczka	37 44	49 59	11 47,3	1,9521	65 12,8
Würzburg	27 35	49 47	16 55,5	1,8718	66 22,7
Znaym	33 43	48 51	13 34,4	1,9627	64 47,7

Als Ergänzung zum Art. Abweichung Bd. I. S. 50 möge hier auch noch die Deklination zu Brüssel bis zum Jahre 1854 eine Stelle finden, wie dieselbe von Quetelet seitdem noch ermittelt ist.

1840	März	21° 46′,1	1848	März	20° 49′,2
1841	"	21 38,2	1849	April	20 39,2
1842	"	21 35,5	1850	"	20 25,7
1843	"	21 26,6	1851	"	20 24,7
1844	"	21 17,4	1852	März	20 18,2
1845	"	21 11,6	1853	April	20 6,0
1846	"	21 4,7	1854	März	19 57,7
1847	"	20 56,8			

In Paris war die Deklination in den letzten Jahren folgende *):

1848	Decbr.	22.	20° 41′	42″
1849	Novbr.	30.	20 34	18
1851	Novbr.	16.	20 25	0
1853	Decbr.	3.	20 17	0.

Reiches Material bieten die Resultate des Göttinger Vereins, eben so Dove's Repertorium der Physik, Bd. VII. S. CXI. bis CLXV. Wir geben hier nur eine Tabelle über die

*) Pariser Annuaire 1854.

München		Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	October	November	December
1842.	14h 6',7	0,52	3,17	6,44	14,04	8,26	10,28	14,51	11,95	11,86	10,34	5,94	1,73
	16 6,7	1,91	3,86	6,96	12,30	7,38	12,17	12,84	9,70	11,39	11,17	7,55	3,41
	18 6,7	3,90	4,99	6,68	11,06	5,76	4,61	9,02	8,72	8,66	10,70	7,00	4,93
	19 6,7	4,94	5,11	5,26	8,65	3,60	1,37	7,75	4,68	5,62	9,17	6,65	4,82
	20 6,7	4,06	4,20	3,65	5,21	1,19	0,37	4,08	0,65	2,33	5,81	5,52	3,70
	21 6,7	2,00	2,76	0,79	2,29	0,00	0,30	0,00	0,00	0,95	2,69	2,99	1,42
	22 6,7	0,00	0,78	0,00	0,73	0,61	0,00	1,86	1,42	0,00	0,00	0,00	0,00
	23 6,7	0,29	0,00	0,60	0,00	4,44	2,69	3,86	3,13	2,46	0,84	0,02	0,00
	0 6,7	2,17	0,53	2,96	4,16	6,35	5,76	6,08	8,06	7,67	3,10	0,39	0,49
	1 6,7	2,80	1,51	4,87	8,88	7,08	7,76	8,17	11,86	11,08	5,50	2,12	1,54
	2 6,7	3,40	2,78	6,47	10,46	8,54	10,94	12,32	12,54	13,19	7,69	1,10	1,40
	3 6,7	2,48	1,75	7,26	13,90	10,60	13,63	13,87	13,61	13,15	6,82	1,14	2,04
	4 6,7	1,48	1,28	6,12	13,60	9,74	13,82	15,68	14,32	11,59	6,59	1,25	1,60
	5 6,7	1,18	0,60	6,92	13,22	9,13	13,06	16,30	12,98	12,07	8,28	2,89	1,60
	6 6,7	1,79	2,50	6,82	13,90	11,50	14,16	17,16	14,58	13,69	9,06	4,13	2,42
	8 6,7	1,78	3,95	7,13	17,96	12,28	13,48	18,54	18,70	16,69	9,89	6,44	0,94
	10 6,7	1,36	2,18	7,08	15,37	12,46	13,66	16,72	19,03	14,83	11,36	4,26	1,15
	12 6,7	0,68	2,98	5,72	16,02	11,10	11,45	14,75	16,32	14,11	9,92	4,97	1,92
1843.	13 6,7	2,60	3,71	7,61	9,92	11,03	13,62	15,76	17,83	14,56	12,31	4,49	1,94
	14 6,7	2,74	2,63	7,64	9,72	10,08	12,12	14,81	15,96	15,07	11,74	5,28	2,41
	16 6,7	4,08	2,46	6,80	8,22	9,46	12,05	13,97	15,59	14,60	12,05	6,08	4,99
	18 6,7	5,84	2,99	7,34	8,56	7,46	10,52	11,75	11,62	13,09	13,31	6,35	6,01
	19 6,7	6,25	3,46	7,52	8,44	4,07	8,17	9,66	10,08	9,98	11,22	7,00	7,43
	20 6,7	5,71	3,48	5,70	5,72	1,48	4,72	6,18	5,21	6,01	6,49	4,91	7,13
	21 6,7	3,06	1,73	3,16	1,48	0,00	1,32	2,77	1,98	2,48	2,93	2,00	4,26

München		Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	October	November	December
1843.	22h 6',7	0,96	1,22	0,34	0,00	1,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,36	1,01
	23 6,7	0,16	0,00	0,00	1,74	2,77	0,94	0,11	2,57	1,10	0,56	0,00	0,73
	0 6,7	0,00	0,76	2,64	4,68	6,22	3,67	3,37	7,79	7,37	2,47	1,46	1,82
	1 6,7	2,06	2,36	4,62	7,14	9,22	8,53	7,36	11,21	9,36	5,04	3,72	1,67
	2 6,7	2,88	2,76	5,96	8,21	11,91	11,52	9,38	13,21	9,62	7,14	2,72	1,64
	3 6,7	3,79	1,85	4,19	7,84	11,77	13,12	14,03	15,49	10,88	7,74	2,66	0,80
	4 6,7	3,92	1,62	5,42	8,30	11,93	13,24	14,10	16,02	11,47	6,80	2,45	1,50
	5 6,7	2,78	1,46	4,60	8,44	12,94	13,64	14,98	16,13	10,91	8,12	3,02	0,22
	6 6,7	2,78	0,88	4,19	8,68	13,54	13,45	15,73	16,87	11,44	10,10	4,30	0,48
	7 6,7	—	3,08	4,31	8,08	14,84	15,78	15,58	18,70	15,43	12,98	4,09	0,00
	8 6,7	3,08	2,74	5,04	8,99	13,94	16,21	15,55	18,97	14,34	11,80	3,77	1,04
	9 6,7	—	4,19	6,17	9,19	13,19	16,30	16,60	19,38	16,30	12,20	3,66	1,43
	10 6,7	3,08	3,61	6,52	9,97	13,00	16,22	16,67	19,56	17,63	13,15	3,86	1,55
	12 6,7	3,49	4,27	5,83	10,22	11,45	15,46	15,70	17,05	14,75	11,98	4,37	3,59
1844.	13 6,7	3,07	2,02	8,87	14,04	10,52	12,86	13,78	17,92	14,52	12,23	4,94	3,48
	14 6,7	2,75	0,72	5,74	13,11	9,74	12,91	13,52	16,30	13,64	12,31	4,85	3,47
	16 6,7	5,03	2,00	7,04	10,39	8,40	12,43	13,55	14,88	14,74	14,52	6,23	5,08
	18 6,7	6,72	3,94	7,39	12,36	7,63	9,64	9,82	11,15	13,43	13,01	6,24	7,08
	19 6,7	7,02	3,82	7,00	8,84	5,02	7,06	7,58	8,60	10,12	10,72	7,50	6,98
	20 6,7	6,23	3,71	5,30	5,38	2,76	4,07	3,95	3,04	4,86	7,03	5,44	7,14
	21 6,7	4,08	2,95	1,78	1,52	0,00	1,28	1,21	0,00	0,48	2,53	4,14	5,08
	22 6,7	2,14	1,91	0,34	0,00	0,97	0,00	0,00	1,26	0,00	0,00	2,35	3,76
	23 6,7	0,00	1,14	0,00	1,94	3,02	3,85	1,64	4,27	1,09	0,32	1,74	2,94
	0 6,7	1,93	1,09	2,39	4,37	5,69	5,29	5,05	8,83	4,99	5,22	1,85	3,56
	1 6,7	3,48	1,93	4,04	6,55	7,76	8,42	9,18	11,33	8,90	6,22	3,31	3,78
	2 6,7	4,02	3,59	5,46	9,92	8,57	10,28	12,07	14,00	10,94	8,10	1,62	0,72
	3 6,7	3,91	2,41	4,16	10,12	9,86	13,32	13,66	15,85	10,45	7,56	1,31	0,46
	4 6,7	3,12	9,35	5,32	9,35	8,90	12,54	12,73	16,50	8,64	6,94	0,41	0,08
	5 6,7	3,31	0,00	4,88	10,37	12,12	12,20	12,47	15,05	9,59	9,08	0,00	0,00
	6 6,7	3,04	0,31	6,77	12,02	12,44	14,12	13,92	17,38	10,60	10,39	1,55	1,58

München		Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	October	November	December
1844.	7h 6',7	3,07	0,94	8,90	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	8 6,7	2,59	2,22	9,63	14,09	15,35	16,31	17,74	20,40	12,96	9,96	4,49	0,53
	9 6,7	2,87	2,12	10,99	—	—	—	—	—	—	—	—	1,79
	10 6,7	2,82	3,38	10,31	14,39	13,09	15,26	15,42	19,87	14,66	12,38	4,02	1,75
	11 6,7	—	—	—	14,77	12,98	15,34	15,37	19,87	14,71	12,91	3,71	2,82
	12 6,7	3,02	1,79	8,21	14,21	11,59	13,50	14,36	18,73	14,77	13,09	4,12	—
1845.	13 6,7	0,65	5,98	11,54	—	12,18	15,92	14,14	18,48	14,64	10,72	5,99	—
	14 6,7	0,82	5,04	11,15	—	12,29	15,20	13,50	17,51	15,06	11,22	6,42	—
	16 6,7	3,85	4,54	11,15	—	10,97	15,17	13,22	16,80	13,75	11,77	8,28	—
	18 6,7	5,56	6,52	9,84	—	7,15	11,30	9,23	13,48	12,02	11,64	9,34	—
	19 6,7	5,94	7,39	9,64	11,88	4,22	7,08	6,44	8,99	7,96	9,89	9,37	—
	20 6,7	6,55	5,83	6,88	7,30	1,13	2,56	2,64	1,94	2,24	6,00	7,03	—
	21 6,7	5,30	3,90	3,08	2,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,08	3,36	—
	22 6,7	4,66	0,00	0,00	0,00	1,15	1,07	0,19	1,07	0,43	0,00	0,00	—
	23 6,7	2,56	1,15	0,44	0,54	3,80	5,10	3,38	4,85	2,00	2,11	0,36	—
	0 6,7	3,97	2,81	5,46	4,37	6,12	9,26	7,85	8,88	6,54	3,89	0,49	—
	1 6,7	5,20	4,40	8,29	8,20	7,92	13,49	10,39	12,62	8,60	5,29	2,41	—
	2 6,7	4,01	3,54	7,72	10,52	8,24	14,57	13,09	16,19	9,38	6,19	2,54	—
	3 6,7	0,96	3,76	9,05	12,48	7,97	17,09	13,43	16,22	8,39	5,17	1,98	—
	4 6,7	0,02	2,17	8,00	12,54	11,45	15,78	13,39	16,12	8,77	5,34	2,87	—
	5 6,7	0,00	1,62	6,89	13,87	11,90	14,57	12,06	15,22	8,64	6,90	3,02	—
	6 6,7	0,66	2,87	7,14	13,01	12,49	15,24	13,09	16,08	10,28	8,45	4,67	—
	8 6,7	1,33	5,45	10,52	16,44	15,07	17,75	15,98	20,50	14,36	10,64	4,78	—
	10 6,7	2,22	6,61	12,43	16,48	13,84	17,50	14,99	20,51	15,01	11,47	5,74	—
	11 6,7	2,75	6,86	12,62	16,30	12,47	16,87	13,93	19,15	14,87	11,34	5,93	—
	12 6,7	3,02	6,97	12,38	15,46	12,17	16,60	14,29	19,94	15,49	11,11	6,40	—

Was die Frage nach der Urſache des Erdmagnetismus anbelangt, ſo haben wir ſchon oben Ampère's Vermuthung angeführt, daß die Erde durch elektriſche Ströme magnetiſch werde, welche ſie in Folge der ſcheinbaren Bewegung der Sonne um die Erde täglich in der Richtung von Oſt nach Weſt umfließen. Wir hätten hiernach die Urſache in der Sonne zu ſuchen, wohin auch die Abhängigkeit der magnetiſchen Variationen von den Sonnenflecken oder die Uebereinſtimmung in der Periode beider zu weiſen ſcheint. Aber auch der Mond ſoll nach Kupffer einen Einfluß ausüben auf die Schwingungsdauer eines Magneten, ſo zwar, daß die Intenſität durch den Mond geſchwächt würde, indem die Schwingungsdauer im Mittel während des Apogäum ſich zu 40′ 0″,5 und während des Perigäum zu 40′ 1″,5 herausſtellte. Eben ſo will auch Kreil einen Zuſammenhang der Schwingungsdauer mit dem Monde und zwar mit deſſen Phaſen gefunden haben, und zwar in folgender Art: 1) die magnetiſche Kraft iſt vom November bis Juni zur Zeit des Neumondes und des erſten Viertels kleiner, vom Juli bis October hingegen größer als beim Vollmonde und letzten Viertel; 2) bei ſüdlicher Deklination des Mondes iſt die magnetiſche Kraft ſtärker als bei nördlicher, durchſchnittlich im Verhältniſſe 22,09428 : 22,09618 — Mai und Juni ſcheinen eine Ausnahme zu machen, wogegen von October bis Januar der Unterſchied am ſtärkſten hervortritt; 3) in der Erdnähe des Mondes iſt die magnetiſche Kraft ſchwächer als in der Erdferne, durchſchnittlich im Verhältniſſe 22,09246 : 22,09444, wovon abermals Mai und Juni eine ſtarke Ausnahme machen; 4) die weſtliche Abweichung der Magnetnadel iſt ſtärker, wenn der Mond ſich öſtlich, d. h. auf der entgegengeſetzten Seite des Meridians befindet. Der Mond wäre hiernach ein der magnetiſchen Kraft unterworfener Körper und auf ſeiner der Erde zugekehrten Hälfte herrſchte jener Magnetismus vor, welcher den Südpol unſerer Magnetnadel anzieht und die magnetiſche Kraft der Erde verſtärkt *). Zu ähnlichen Reſultaten, wie Kreil aus den Beobachtungen zu Mailand und Prag erhalten hat, iſt Sabine **) aus den Beobachtungen von Toronto, St. Helena und Hobarton gekommen.

Es treten zwei Zeitpunkte des Maximums der Abweichung gegen Oſten und eben ſo zwei des Maximums der Abweichung gegen Weſten auf, welche zwiſchen zwei auf einander folgenden Durchgängen des Mondes durch den oberen Meridian des Beobachtungsortes ſtattfinden. Hiernach könnte man, wenn man die Urſache in einem außerhalb der Erde zu ſuchenden Einfluſſe finden wollte, eben ſo gut an den Mond denken. Aber der Mond könnte eben ſo durch die Sonne magnetiſch werden, wie die Erde, und natürlich ſich dann auch ein Einfluß des Mondes auf die Erde in Betreff des Magnetismus zeigen. Es iſt alſo naturgemäßer auf die Sonne, als auf den Mond ſein Augenmerk zu richten, indem die Wirkung des letzteren nur eine ſecundäre ſein möchte.

De la Rive ***) gründet ſeine Theorie der Urſache der täglichen Variationen auf die Idee von thermoelektriſchen Strömen in der Atmoſphäre und der

*) Pogg. Ann. Bd. XLVI. S. 443.

**) Instit. 1854. p. 78. Compt. rend. T. XXXIX. p. 687. Arch. ph. nat. T. XXVIII. p. 47.

***) Ann. de Chim. et de Phys. 1849. T. XXV. p. 310.

Erde. Und Becquerel *) hat auch elektrische Ströme in der Erdrinde gefunden, aber nicht regelmäßig von Oſt nach Weſt die Erde umkreiſende, ſondern in allen Richtungen gehende. — Einwendungen gegen die Annahme von thermoelektriſchen Strömen und einer daher rührenden Polarität der Erdrinde wurden von Chriſtie **) erhoben, die jedoch nicht von der Art ſind, daß ſie dieſe Annahme könnten als unrichtig erſcheinen laſſen.

Lamont ***) hat die vorliegende Frage zum Gegenſtande einer beſonderen Abhandlung gemacht. Er ſagt, man habe von galvaniſchen oder thermomagnetiſchen Strömen geſprochen, die an der Erdoberfläche durch die Sonnenwärme entſtänden und ſich daſelbſt fortpflanzten. Indeſſen bisher habe noch kein Phyſiker durch Anwendung von Wärme in gemiſchten Materialien, wie ſie an der Erdoberfläche ſich vorfinden, einen galvaniſchen Strom hervorgebracht. Entſtänden aber auch wirklich ſolche Ströme, ſo wäre wohl zu vermuthen, daß nach der verſchiedenartigen Beſchaffenheit der Oberfläche ihre Fortpflanzung und mithin auch ihre Wirkung verſchieden ſein würde. Die Erfahrung aber lehre, daß auf dem Meere, wie auf dem feſten Lande, in der Höhe, wie in der Tiefe überall nahe gleiche Wirkung ſich zeigt. Ueberdies beſtehe das Innere der Erde aus Stoffen von ſehr großer ſpecifiſcher Schwere, alſo höchſt wahrſcheinlich aus Metallen, die ſämmtlich, ſo weit uns bekannt, beſſere Leiter ſind, als die Stoffe der Erdoberfläche. Demnach wäre nicht zu begreifen, warum, wenn auf der einen Erdhälfte die größte Wärme, auf der andern die größte Kälte iſt, und dazwiſchen eine galvaniſche Spannung entſteht, der Strom um die Erde herumgehe, und nicht lieber durch die Mitte dem beſſeren und kürzeren Leiter folge, wobei natürlich gar keine Wirkung auf eine an der Oberfläche befindliche Nadel hervorgebracht würde. — Hiergegen läßt ſich jedoch einwenden, daß der thermoelektriſche Gegenſatz, ſo weit er ſeine Urſache in der Erwärmung der Erde durch die Sonne hat, auf der Oberfläche der Erde bis zu einer Tiefe ſtatt hat, die im Verhältniß zum Halbmeſſer der Erde gewiß nur ſehr gering iſt. Die elektriſche Strömung kann nur in den Theilen ſtattfinden, zwiſchen welchen der elektriſche Gegenſatz, in Folge der durch die Sonne bewirkten Wärmeverhältniſſe beſteht, zwiſchen Theilen alſo, die dem Umfange der Erde entlang mit einander in Berührung ſtehen. Die vermöge dieſes Gegenſatzes auftretenden Ströme werden dann jedenfalls um die Erde herum-, und nicht durch den Erdkörper hindurchgehen. Beſteht aber das Innere der Erde großentheils aus metalliſchen Stoffen, ſo werden ſich dieſelben in einem glühenden, geſchmolzenen Zuſtande befinden, ſo daß alſo ihre Leitungsfähigkeit für die Elektricität eine beträchtlich verminderte ſein muß. Doch wollen wir von dieſem Umſtande hier ganz und gar abſehen. Wäre auch wirklich die eine Hälfte des Erdkörpers bis an die Grenze des metalliſchen Erdinneren poſitiv, die andere Hälfte bis eben dahin negativ elektriſch, ſo würde die Ausgleichung dieſes elektriſchen Gegenſatzes doch nicht allein durch das Erdinnere hindurch geſchehen, ſondern es würden elektriſche Ströme durch die ganze Erdmaſſe, alſo auch um die Erde herum, von der einen Hälfte zur anderen ſtattfinden. Sind aber die entgegengeſetzt elektriſchen Erdhälften durch eine ſehr beträchtliche Erdſtrecke von dem metalliſchen Erdkern geſchieden,

*) Compt. rend. T. XIX. p. 1052.
**) Phil. Trans. 1827. p. 308.
***) Pogg. Ann. Bd. LXXVI. S. 67.

ſo wird die Ausgleichung derſelben noch viel weniger durch dieſen Kern hindurch geſchehen können.

Eine andere Schwierigkeit würde nach Lamont dieſe ſein, daß die galvaniſche Strömung ſehr ſtark angenommen werden müßte, um die Einwirkung, die wir wahrnehmen, zu erklären, und es wäre nicht wohl begreiflich, daß ein ſtarker Strom ſich nicht auf ſonſtige leicht wahrnehmbare Weiſe äußern ſollte. Wolle man aber, um dieſer Schwierigkeit auszuweichen, annehmen, daß der Strom tief unter der Erdoberfläche ſich fortpflanze, ſo wäre dann zu erklären, wie die Wärme, die während des Tages nur ein paar Zoll in die Erde eindringt, dieſen Strom erzeugen ſollte. — Dagegen iſt aber zu erinnern, daß die Einwirkung, welche wir wahrnehmen, das Reſultat unzähliger Partialwirkungen iſt. Die thermoelektriſchen Ströme mögen an ſich immerhin ſehr ſchwach ſein, und demgemäß auch die von ihnen bewirkte magnetiſche Polarität der einzelnen Erdtheilchen; dennoch wird die erdmagnetiſche Kraft als die Geſammtwirkung aller ſo magnetiſirter Theilchen des Erdkörpers eine ſehr merkliche ſein müſſen.

Lamont ſelbſt ſtellt nun folgende Hypotheſe auf. Die Phänomene, welche die Kometen zeigen *), erfordern, daß man der Sonne eine Kraft beilege, vermöge welcher ſie einen Theil der Kometenmaterie anzieht, einen anderen Theil abſtößt. Unter den uns bekannten Kräften könnte nur die Elektricität dieſe Wirkung hervorbringen. Wir hätten demnach anzunehmen, daß die Sonne eine große Menge Elektricität, z. B. poſitive, beſitze, die Kometen aber in Folge deſſen durch Induction elektriſch werden, und die beiden Elektricitäten darin ſich ſcheiden. Iſt nun die Sonne wirklich ſo ſtark poſitiv elektriſch, ſo wird ſie auch auf die Elektricität, die in unſerer Erde jedenfalls in großer Menge vorhanden ſein muß, Einfluß haben, und zwar wird auf der Seite, welche der Sonne zugewendet iſt, die negative, auf der entgegengeſetzten Seite (der Nachtſeite) die poſitive Elektricität ſich anſammeln, und eine mächtige elektriſche Welle oder Strömung, der man allerdings Einfluß auf den magnetiſchen Zuſtand zuſchreiben dürfte, wird ſich in 24 Stunden um die Erde herumziehen, ſowohl im Innern als in der Atmoſphäre, am Aequator mit einer Geſchwindigkeit von 1427 Par. Fuß.

Lamont weiſt hierauf nach, daß eine Kraft, die an der Erdoberfläche in 24ſtündiger Periode ſich herumzieht und nach allen Richtungen umgekehrt, wie das Quadrat der Entfernung, wirkend, das eine Ende der Nadel eben ſo ſtark anzieht, als ſie das andere abſtößt, die magnetiſchen Variationen, wie ſie die Beobachtung gegeben hat, nicht hervorbringen könne; daß mithin die magnetiſchen Variationen einer an der Erdoberfläche erregten magnetiſchen, galvaniſchen oder thermoelektriſchen Kraft nicht zugeſchrieben werden können, inſofern vorausgeſetzt wird, daß dieſe Kraft die gewöhnlich für Magnetismus angenommenen Geſetze befolgt.

Dies Reſultat findet nun, wie Lamont bemerkt, auf ſeine Hypotheſe keine Anwendung, weil er die Elektricität nicht etwa blos an der Oberfläche, ſondern ſowohl im Innern, als auch in der Atmoſphäre vertheilt annimmt; wohl aber ſei es ein Beweis gegen die Hypotheſen, welche als Bedingung vorausſetzen, daß die Urſache der täglichen Variationen an der Erdoberfläche, oder jedenfalls in

*) Vergl. Art. Kometen. Bd. IV. S. 329.

der Nähe der Erdoberfläche ſich befinden müſſe, es müßten denn Kräfte angenommen werden, die nicht nach den gewöhnlichen einfachen Geſetzen wirken. — Alſo auch nach Lamont's Hypotheſe iſt es eine elektriſche Strömung, welche die erdmagnetiſche Polarität bewirkt. Was aber die elektriſche Strömung in der Atmoſphäre betrifft, die gewiß nur ſehr ſchwach ſein kann, ſo möchte dieſelbe wohl eben ſo gut durch einen von der Sonne bewirkten thermoelektriſchen Gegenſatz (auf dieſelbe Weiſe wie in der Erdrinde) als durch eine directe Induction von Seiten der Sonne entſtehen können.

Daß der letzte Grund der Variationen in der ſcheinbaren Bewegung der Sonne liege, kann keinem Zweifel unterworfen ſein, und es ſcheint beinahe nach den oben gemachten Mittheilungen über Secchi's Unterſuchungen, daß der Einfluß der Sonne ein directer ſei. Früher war man der Anſicht, daß dieſer Einfluß nur ein indirecter ſei, namentlich nach den Unterſuchungen von Schübler *), eben ſo von Farquharſon **) über den Einfluß der Heiterkeit und Trübe des Himmels und von Kämtz ***) über den Einfluß des Windes auf die Deklinationsnadel. Doch folgt aus Kreil's Ergebniſſen, zu denen er aus der Vergleichung ſeiner Beobachtungen über die Variationen der Deklination und horizontalen Intenſität mit den gleichzeitig eingetretenen meteorologiſchen Verhältniſſen, insbeſondere der Heiterkeit der Luft und der Richtung des Windes, gekommen iſt, daß zwiſchen beiden Klaſſen von Erſcheinungen ein innerer Zuſammenhang, wie zwiſchen Urſache und Wirkung, nicht ſtattfindet ****).

Neuerdings iſt Faraday *****), in Folge ſeiner 1845 gemachten Entdeckung, daß alle Körper, ſtarre wie flüſſige, von dem Magnete angezogen oder abgeſtoßen werden, auf den Gedanken gekommen, daß, da die Atmoſphäre zu zwei Neunteln ihres Gewichts aus einem magnetiſchen Körper beſtehe, der durch die vermöge des täglichen und jährlichen Lauf's der Sonne bewirkte Temperatur- und Dichtigkeitsänderungen großen Veränderungen in ſeinem Magnetismus ausgeſetzt iſt, dies zugleich mit der Aenderung der Magnetkraft auf der Erdoberfläche zuſammenhänge, und daß man hierin eine Erklärung finden könne von einem großen Theile der jährlichen, täglichen und auf kurze Zeit eintretenden unregelmäßigen Variationen, welche in der magnetiſchen Kraft der Erde vorkommen.

Er zeigt, daß der Sauerſtoff der Luft höchſt paramagnetiſch iſt, daß er bei unverändertem Volumen weniger magnetiſch wird, ſo wie eine Veränderung ſtattfindet, daß er einen großen Theil ſeiner paramagnetiſchen Kraft verliert, ſo wie man ſeine Temperatur ſteigert und eine Ausdehnung geſtattet, umgekehrt, daß bei Erniedrigung der Temperatur die Kraft zunimmt. Dies Verhalten bewahrt er bei der Vermiſchung mit Stickſtoff in der Luft, ſo lange als ſeine phyſiſchen und chemiſchen Zuſtände unverändert bleiben; aber jede Operation, durch welche er in ſeiner Natur verändert oder zu Verbindungen genöthigt wird, mögen dieſe

*) Schweigger's Journ. Bd. XXVIII. S. 305.
**) Phil. Transact. 1830. Part. I.
***) Meteorologie. Bd. III. S. 440.
****) Wien. Acad. Bericht. Bd. XII. S. 847.
*****) Phil. Transact. 1851. Part. I. Pogg. Ann. Ergänzungsbd. III. (LXXXVII. b). S. 130 u. 187.

ſtarr, flüſſig oder gaſig ſein, nimmt ihm ſeinen paramagnetiſchen Charakter. Daher iſt die Atmoſphäre, in gewöhnlichem Sinne, ein höchſt magnetiſches Medium. Bei jeder Veränderung der Dichte, mag ſie barometriſcher oder thermometriſcher Art ſein, ändert dieſes Medium ſein magnetiſches Verhalten. Ueberdies übt jede Temperaturvariation anſcheinend Ihren eigenen Einfluß in Zuſatz zu dem aus, welchen eine bloße Volumenveränderung bewirkt, und keine dieſer Veränderungen kann ſich zutragen, ohne nicht die Magnetkraft der Erde zu afficiren und in deren Richtung und Intenſität auf der Erdoberfläche Variationen hervorzurufen.

Wir können hier Faraday's ausführliche Auseinanderſetzung über den atmoſphäriſchen Magnetismus, wie er denſelben benennt, nicht aufnehmen und müſſen auf die Quelle verweiſen. Nur ſei bemerkt, daß nach ſeiner Hypotheſe die Wirkung der Sonne auf die Magnetnadel wieder eine indirecte ſein würde. Die Sonne afficirt nach ihm an einem gegebenen Orte die Atmoſphäre; die Atmoſphäre afficirt die Richtung der Kraftlinien*), und dieſe afficiren die reſpective von ihnen beherrſchten Nadeln. Er nimmt nicht an, daß die erwärmte oder erkaltete Luft magnetiſch werde und nach Art eines Stück's Eiſen direct auf die Magnetnadel wirke, entweder polar oder inductiv. Es wird von ihm für den Sauerſtoff der Luft keine andere Polarität, als eine ſogenannte Leitungspolarität, d. h. Concentration oder Expanſion der Magnetkraftlinien in den als Leiter wirkenden Körpern, angenommen. Die Veränderung in dem magnetiſchen Leitvermögen bewirkt die Ablenkung der Kraftlinien, ſo daß die Wirkung der Atmoſphäre blos dahin geht, die Kraftlinien zu biegen. Die Nadel wird von dieſen Linien gehalten, iſt ihnen parallel, wenn ſie frei iſt, und ändert ihre Lage mit denſelben. Es iſt nicht nöthig, daß die Linien, deren Richtung unmittelbar durch die veränderte Luft afficirt wird, dicht an der Nadel liegen; ſie können vielmehr ſehr fern ſein. Die Geſammtheit der Magnetlinien um die Erde wird durch gegenſeitige Spannung zu einem ſenſitiven Syſteme verknüpft, welches nirgends Trägheit beſitzt, ſondern eine irgendwo eingetretene Veränderung überall fühlt. Erfolgt eine neue Vertheilung der Kraft, ſo wird, wenn nah oder fern eine Veränderung in der Richtung eintritt, die Nadel an einem gegebenen Orte dieſelbe fühlen und mehr oder weniger ſtark anzeigen, je nach der Nähe des Ortes und der Art der Veränderung. Allein gleichzeitig iſt die Anordnung des ganzen Syſtems verändert und deshalb werden auch alle übrigen Nadeln ergriffen, in Gemäßheit der Veränderungen, welche die ſie individuell beherrſchenden Kraftlinien erleiden. Die Nadel iſt hier gewiſſermaßen eine Waage, an welche alle Magnetkraft rings um einen gegebenen Ort ſich anhängt, ſelbſt bis zu den Antipoden, und ſie zeigt für jeden Ort jede Veränderung in der Größe und Anordnung derſelben, mag ſie nun nahe oder ferne eintreten. Ihre mittlere Lage iſt ihre normale; und in Bezug

*) Faraday nennt magnetiſche Kraftlinien, die jeden magnetiſchen Körper umgeben, ſolche Linien, welche eine kleine Magnetnadel beſchreibt, wenn man ſie ſo fortbewegt, daß ihre Richtung fortwährend die Tangente zur Bewegungslinie bleibt. Nicht nur die Richtung, ſondern auch die Intenſität der magnetiſchen Kraft wird nach ihm durch dieſe Linien angezeigt. Die magnetiſchen Figuren, wenn man Eiſenfeilicht auf ein über einen Magneten gelegtes Pappblatt ſtreut, ſtellen ſolche magnetiſche Kraftlinien in der Ebene des Blattes vor.

auf atmosphärische Aenderung ist es die Befestigung der Kraftlinien in der Erde, welche — abgesehen von den säcularen Aenderungen — diesen Linien eine normale Lage giebt, und sie sowohl wie die Nadel aus dem gestörten Zustande in den normalen zurückführt. —

Die Erscheinungen, welche man unter dem Namen des Erdmagnetismus zusammenfaßt, können wohl nicht direct durch eine magnetische Kraft, die ganz außerhalb der Erde, etwa in der Sonne ihren Sitz hat, bewirkt werden, so also, daß hierbei ein magnetischer Einfluß der Erde im Ganzen als gleichgiltig erscheint. Man weiß, daß eine frei bewegliche Magnetnadel über der Erdoberfläche im Wesentlichen dieselben Erscheinungen darbietet, als über einem größeren Magneten, woraus man denn auch längst geschlossen hat, daß der Erdkörper selbst, als Ganzes betrachtet, ein Magnet sei, wenn auch gerade nicht durch seine ganze Masse hindurch. Gauß hält die Hypothese für unstatthaft, welche die Ursache des Erdmagnetismus als außerhalb der Erde befindlich annimmt, bemerkt aber dabei, daß damit die Möglichkeit, daß ein Theil der erdmagnetischen Kraft, wenn auch verhältnißmäßig nur ein sehr geringer, von oben her erzeugt werde, noch nicht als entschieden widerlegt betrachtet werden dürfe, sondern daß vielmehr eine viel vollständigere und schärfere Kenntniß der Erscheinungen in Zukunft über diesen wichtigen Punkt der Theorie des Erdmagnetismus Aufschluß geben könne. Kommt der Erde, als Ganzes, magnetische Polarität zu, so kann diese nicht auf einige ausgezeichnete Punkte beschränkt sein, sondern wir müssen uns eine Kugelschale (der Erde) bis zu einer gewissen Tiefe als magnetisirt denken, so daß die Gesammtwirkung (nach bekannten Gesetzen des Magnetismus) aus den Partialwirkungen aller magnetisirten Theilchen (innerhalb dieser Schale) resultirt. Elektrische Ströme machen nun jeden Körper, den sie in bestimmter Richtung durchfließen, in bestimmter Weise zu einem Magneten, so daß der Gedanke, die erdmagnetische Polarität werde durch elektrische Ströme bewirkt, sehr nahe liegt. Und am einfachsten erscheinen thermoelektrische Ströme, welche die Erde dem scheinbaren Laufe der Sonne gemäß umfließen. Diese Ströme haben eine solche Richtung, wie sie sein müßte, um der Erde eine den gewöhnlichen Erscheinungen des Erdmagnetismus entsprechende Polarität zu verleihen. Von allen magnetisirten Theilchen des Erdkörpers werden nun Systeme von Kraftlinien ausgehen, welche in jedem Punkte des umgebenden Raumes eine bestimmte Wirkung ausüben müssen. Hierbei ist aber der Umstand, daß der Sauerstoff unserer Atmosphäre magnetischer Natur ist, gewiß ein sehr bedeutungsvoller Factor. Auch der Einfluß der Wärme auf den Erdmagnetismus erscheint von großer Bedeutung, so daß wohl jede thermische Veränderung des Erdkörpers mit einer entsprechenden magnetischen verbunden ist. Dove hat hierauf besonders aufmerksam gemacht. Auf der nördlichen Erdhälfte wird die Ostseite in der Frühe stärker erwärmt als die Westseite, dort also auch die Anziehung geschwächt, und die Magnetnadel geht deshalb mit ihrem Nordende nach West. Die Deklination nimmt also zu. Da aber die Südseite in Verlauf des Tages eine höhere Temperatur annimmt als die Nordseite, so wird die Inklination Vormittags abnehmen. Dagegen wird die Intensität des Erdmagnetismus vom Morgen an wachsen, weil, wenn die Intensität im Süden schwächer wird, sie im Norden mehr hervortreten muß. Je geringer nun die Veränderungen der Wärme innerhalb eines gegebenen Zeitraums sind, desto geringer werden auch die Veränderungen des Erdmagnetismus sein. Die letzteren sind

deshalb des Nachts geringer als am Tage, im Sommer aber größer als im Winter, bei bedecktem Himmel kleiner als bei heiterem ꝛc.

Wie wenig wir dermalen festzustellen vermögen über die hier möglicherweise zur Geltung kommenden Einflüsse, das sieht man recht klar an einer Aeußerung Sabine's. Derselbe theilt mit *), daß in Toronto (43° 39′ 35″ n. Br., 79° 21′ 30″ westl. L. v. Gr.) und Hobarton (42° 52′,5 s. Br., 147° 27′,5 östl. L. v. Gr.), welche Stationen auf der Erde nahe einander gegenüberliegen, die ganze magnetische Kraft vom October bis Februar inclusive größer sei, als vom April bis August, und die Neigungsnadel senkrechter stehe vom October bis Februar und mehr horizontal vom April bis zum August. Hieran knüpft er die Fragen, ob diese Erscheinung wohl zusammenhänge mit der von Dove gefundenen jährlichen periodischen Veränderung der Temperatur des ganzen Erdkörpers, welche Temperatur am höchsten ist vom April bis zum August? oder ob sie eine directe magnetische Folge sei der vom October bis zum Februar hin größeren Sonnennähe, wenn man die Sonne als inducirende Ursache des Erdmagnetismus ansieht? oder ob sie die Folge sei der vom October bis Februar größeren Geschwindigkeit der Bewegung der Erde in ihrer Bahn in Gegenwart elektrischer den Weltraum durchfließender Ströme? — Ueberdies macht Sabine **) darauf aufmerksam, daß man sich nicht auf die Untersuchung der täglichen Veränderungen der magnetischen Elemente und der sogenannten magnetischen Störungen beschränken müsse, wie es in letzter Zeit meist geschehen sei, da diese nur als die Effecte geringerer Kräfte betrachtet werden können, man habe vielmehr die Untersuchung auf die Gesammtheit der Erscheinungen auszudehnen, welche in Betreff des magnetischen Zustandes unseres Planeten entweder dauernd oder vorübergehend hervortreten, also auf die Bestimmung der mittleren numerischen Werthe der Elemente des Erdmagnetismus in Beziehung auf ihre Richtung und ihre Intensität an verschiedenen Punkten der Erdoberfläche. H. E.

Magnetoelektricität. Unter diesem Namen faßt man nicht selten diejenigen elektrischen Erscheinungen zusammen, welche der Magnetismus in Leitern der Elektricität bewirkt. Die durch den Magnetismus erregten, sogenannten magnetoelektrischen Ströme gehören aber zur Klasse derjenigen, welche jetzt gewöhnlich Inductionsströme genannt werden. Von denselben ist ausführlicher die Rede im Art. Induction, elektrische (Bd. IV. S. 8), wo bezüglich der Magnetoelektricität S. 12 ff. zu vergleichen ist.

Ueber die Reciprocität der elektromagnetischen und magnetoelektrischen Erscheinungen hat Plücker ***) eine Untersuchung angestellt, aus der wir folgende Resultate entnehmen. „Wenn ein geradliniger und als unbegrenzt zu betrachtender Leiter und irgend zwei Punkte gegeben sind, so ist die Stromerregung durch einen magnetischen Pol immer dieselbe, gleichviel auf welchem Wege der Magnet von dem einen Punkte zu dem anderen in gleichem Sinne bewegt wird. Insbesondere ist diese Erregung dieselbe, wenn der magnetische Pol von einer beliebigen Lage ausgeht, und nachdem er eine beliebige Curve, den Leitungsdraht umkreisend,

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIX. S. 478.
**) Krönig Journ. Bd I. S. 331. Phil. Transact. 1850. Part. I. p. 201.
***) Pogg. Ann. Bd. LXXXVII. S. 352.

durchlaufen hat, wieder zu der ursprünglichen Lage zurückgeht. Hiernach ist, wenn auch die Dauer der jedesmaligen Umkreisung des Drahtes sich gleich bleibt, die elektromagnetische Kraft und, bei gleichem Widerstande, auch die Stromstärke dieselbe. Wenn die in sich geschlossene, von dem Pol beschriebene, Curve den Leitungsdraht nicht umschließt, so verschwindet die Stromerregung oder vielmehr die bei jeder Umkreisung des Leitungsdrahtes stattfindenden entgegengesetzten Stromerregungen heben sich gegenseitig auf.

Wenn ein magnetischer Pol eine unbegrenzte gerade Linie durchläuft, so ist die Erregung des Stromes immer dieselbe, wie auch der Träger desselben von einem ersten festen Punkte geleitet wird. Insbesondere ist diese Erregung auch dann dieselbe, wenn der Leitungsdrabt sich um den magnetischen Pol in irgend einer beliebigen in sich geschlossenen Curve hinzieht, und zwar auch derjenigen in einem unbegrenzten geradlinigen Leiter gleich, um welchen derselbe Pol in einer beliebigen in sich geschlossenen Curve sich herumdreht. Die Erregung verschwindet für jeden in sich geschlossenen Leiter, wenn die von dem Pole beschriebene gerade Linie außerhalb desselben liegt."

Einen Beitrag zur Theorie der magnetoelektrischen, insbesondere der Saxton'schen Maschine, hat Koosen *) gegeben. Er zeigt, daß auch bei einer solchen Maschine eine Umwandelung von Kraft in Arbeit vor sich gehe, und auf welche Weise man sich von dieser Umwandlung Rechenschaft geben könne. Derselbe ermittelte, daß während der Entwickelung des magnetoelektrischen Stromes die Punkte der größten Polarität der Eisenkerne, wie deren magnetische Indifferenzpunkte mit zunehmender Stromstärke mehr und mehr sich von ihrer ursprünglichen Ruhelage gegenüber den Polen der Stahlmagnete verschieben. Da nun das magnetische Maximum immer erst dann eintritt, wenn der Eisenkern vom Magnetpol entfernt wird, so muß auch der Kraftaufwand, um diese Entfernung zu bewerkstelligen, immer größer als die während der Hinbewegung des Eisenkerns zum Magnetpole durch die magnetische Anziehung beider Theile hervorgebrachte Kraft sein, so daß also im Ganzen, während die Inductionsspirale geschlossen ist und der Strom in derselben circulirt, ein gewisses Quantum von Arbeit durch die Rotation des Inductors verbraucht wird. Dieses gleiche Quantum muß sich dann, nachdem es in Elektricität verwandelt worden, aus dieser wieder gewinnen lassen, z. B. durch Vermittelung einer elektromagnetischen Maschine.

Im Art. Induction, elektrische S. 44 ist hervorgehoben worden, daß Sinsteden an den Enden der ungeschlossenen Inductionsspirale einer magnetoelektrischen Maschine freie Elektricität von einer gewissen Spannung wahrgenommen habe. Diese Spannungselektricität gab sich zu erkennen durch Funken, schmerzhafte Einwirkungen auf dünne Hautstellen und durch Erschütterungsschläge. Dieselben Erscheinungen beobachtete er auch an einer Volta-elektrischen Inductionsrolle, so wie auch am Stahlmagnet jener Maschine und am Eisendrahtbündel dieser Rolle. Sinsteden **) fand nun weiter, daß die Funken und Erschütterungsschläge, welche man erhält, wenn man das eine Ende der inducirten, und ein Ende der inducirenden Drahtrolle, durch welche ein Volta'sches Element abwechselnd

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXVII. S. 386.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXXV. S. 465.

geſchloſſen und geöffnet wird, anfaßt, einmal eine reine Wirkung der Spannungselektricität ſind, die hier immer nur momentan auftritt, und der die durch Iſolation und Bindung zu bewirkende Dauer noch abgeht, und zweitens, daß dieſe Erſcheinungen durchaus nicht an die Drahtform gebunden ſind. Funken und Erſchütterungsſchläge bleiben ganz dieſelben, oder werden vielmehr noch verſtärkt, wenn man in dem Verſuche die Drahtform mit der Flächenform vertauſcht. Der inducirende und inducirte Spiraldraht iſt nothwendig, um eine Ladung zu bewerkſtelligen, wie die Glaselektriſirmaſchine nothwendig iſt, um eine Leidener Flaſche zu laden; aber die Erſchütterung und Funken verurſachende Entladung der vollſtändig von einander iſolirten beiden Spiraldrähte hat mit der Drahtform nichts zu thun, eben ſo wenig, wie die Entladung einer Leidener Flaſche mit der Glaselektriſirmaſchine noch etwas zu ſchaffen hat. Sinſteden hat nun eine Vorrichtung angegeben, welche an einer Volta-elektriſchen Inductionsrolle und an der magnetoelektriſchen Sarton'ſchen Maſchine leicht anzubringen iſt, und von ihm Ladungstafel genannt wird, weil ſie die Stelle einer gewöhnlichen Leidener Flaſche vertritt, deren Ladung aber keine Schwierigkeiten macht, die ſich vielmehr unaufhörlich von ſelbſt ladet und entladet, und zwar, wie Sinſteden bemerkt, mit einer ſolchen Energie, daß die hellglänzenden und knallenden Entladungsfunken, welche zwei Linien lang frei durch die Luft fahren, eine ſechsfache Lage von Schreibpapier unausgeſetzt durchbohren. Bezüglich der näheren Einrichtung dieſer Ladungstafel müſſen wir hier auf die citirte Abhandlung ſelbſt verweiſen.

Durch den Magnetismus können nicht nur in ſtarren Elektricitätsleitern, ſondern auch in tropfbaren Flüſſigkeiten, z. B. wie Queckſilber und geſchmolzenen Metallen, elektriſche Ströme inducirt werden. Faraday *) hat nun dargethan, daß auch in anderen Flüſſigkeiten ſolche Inductionsſtröme hervortreten können. Als inducirender Magnet diente ein kräftiger Elektromagnet, welcher durch eine Grove'ſche Batterie von 20 Plattenpaaren hergeſtellt wurde. Mit demſelben ſtand ein Anker aus weichem Eiſen in der Form eines cylindriſchen Stabes in Verbindung. Die Flüſſigkeit befand ſich in einer Schraubenröhre aus geſchwefeltem Kautſchuk, welche ſo vorgerichtet war, daß jeder in ihr inducirte Strom eine entgegengeſetzte Ablenkung am Galvanometer hervorbringen mußte, als die directe Wirkung des Magnets. Das Galvanometer befand ſich in angemeſſener Entfernung vom Magneten und war durch dicke Kupferdrähte, die in Queckſilber tauchten, mit der Schraubenröhre verbunden. Die letztere wurde zunächſt mit verdünnter Schwefelſäure gefüllt, und die Ablenkung der Galvanometernadel, welche von dem durch Berührung der Säure mit den Kupferenden erregten galvaniſchen Strome hervorging, gehörig berückſichtigt. Da dieſer Strom eine conſtante Kraft zeigte, ſo ließ er ſich leicht von dem zu beobachtenden Endreſultate unterſcheiden. Als der Magnet in Thätigkeit geſetzt wurde, wich die Nadel des Galvanometers in einer Richtung aus und beim Oeffnen der Batterie nach der anderen Seite, und zwar in der eigenthümlichen bei Inductionsſtrömen beobachteten Weiſe. Nach Faraday iſt die Stärke dieſer Inductionsſtröme dem Leitungsvermögen der Flüſſigkeit, in welcher ſie erregt werden, proportional.

In techniſcher Beziehung iſt zu bemerken, daß Verdu und Savare ſtatt

*) Phil. Mag. Ser. IV. Vol. VII. p. 256.

des Stromes der galvaniſchen Batterie Inductionsſtröme zur Entzündung von Minen verwendet haben. Verdu verband zuerſt zu dieſem Behufe die Bunſen'ſche Batterie mit dem Ruhmkorff'ſchen Inductionsapparat, ſo daß bei der erſteren die Zahl der Elemente auf zwei eingeſchränkt wurde. Alsdann machte er die galvaniſchen Elemente ganz entbehrlich, indem er an deren Stelle den Clarke'ſchen Apparat ſetzte, mit deſſen Hülfe er Minen auf 5600 Meter Entfernung unter Waſſer entzündete. Savare wandte ebenfalls Inductionsſtröme an, und gab namentlich den Zündbüchſen eine vortheilhafte Einrichtung *).

Es iſt bekannt, daß ein Eiſendraht, der Einwirkung des Erdmagnetismus unterworfen, ſich andauernd magnetiſirt, ſobald er einer bedeutenden und andauernden Torſion (Drehung) ausgeſetzt wird. Die Torſion ſoll hier in gleicher Weiſe wie jede andere mechaniſche Erſchütterung begünſtigend auf das Hervortreten des Magnetismus wirken. Wertheim **) hat jedoch durch Verſuche nachzuweiſen geſucht, daß die Torſion in einer ganz ſpeciellen Weiſe wirkſam ſei. Die Torſion bewirkt nach ihm temporäre magnetiſche Effecte, wenn ſie ſelbſt temporär iſt, und permanente, wenn ſie permanent iſt; und dieſe Effecte können auf keine andere Weiſe von mechaniſchen Kräften hervorgebracht werden. Ein bis zur Sättigung magnetiſirter Eiſenſtab demagnetiſirt ſich in dem Moment, wo er eine temporäre Torſion erleidet, und remagnetiſirt ſich im Moment der Detorſion. Unter Magnetiſirung bis zur Sättigung wird der magnetiſche Gleichgewichtszuſtand verſtanden, in welchem ſich das Eiſen befindet, welches allen Magnetismus angenommen hat, den es unter der Wirkung eines gegebenen Stromes zu erlangen vermag, oder welches, nach der Unterbrechung dieſes Stromes, allen Magnetismus ſchon verloren hat, den es nicht behalten kann. So lange dieſes Gleichgewicht nicht hergeſtellt iſt, wirken die Torſionen und Detorſionen nur wie jede andere mechaniſche Erſchütterung.

Zur Anſtellung des Verſuches wurde ein wohl ausgeglühter Stab aus weichem Eiſen, von 1 Meter Länge und 15 Millimeter Durchmeſſer, an einem ſeiner Enden befeſtigt, während das andere ſich im Mittelpunkte eines Rades befand, mittelſt deſſen man es nach beiden Richtungen hin drillen (drehen) konnte. Derſelbe trug zwei Drahtrollen, deren eine zur Aufnahme des Stromes einer einfachen Daniell'ſchen Kette beſtimmt war, während die andere den Inductionsſtrom leitete. Die letztere war mit einem empfindlichen Galvanometer mit aſtatiſcher Nadel verbunden, und beide Drahtrollen waren hinreichend von einander entfernt, damit keine directe Induction ſtattfinden konnte. Bei Herſtellung eines Stromes ging die Nadel auf 90° nach der Rechten; der Nordpol war eingeſpannt, der Südpol gedrillt. Hatte der Strom die umgekehrte Richtung, ſo war der Südpol eingeſpannt und der Nordpol gedrillt, und die Nadel wich links ab. Wertheim veranſchaulicht den Gang des Verſuches durch eine Tafel. Derſelbe bemerkt, daß man die Coërcitivkraft eines jeden Eiſens meſſen könnte durch die Anzahl der Torſionen, welche nöthig ſind, um es auf den Sättigungspunkt zu bringen.

Wenn ein Eiſenſtab (oder ein Bündel Eiſendrähte) mittelſt einer ſtarken und permanenten Torſion unter Wirkung des terreſtriſchen Magnetismus oder ſonſt

*) L'Inst. Nr. 1062. p. 158.
**) Compt. rend. T. XXXV. p. 702. Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 331.

eines Stromes magnetisirt worden ist, so verhält er sich nicht wie ein gewöhnlicher Magnet. Jede temporäre Torsion oder Detorsion, welche im Sinne der permanenten Torsion auf denselben wirkt, erzeugt eine Magnetisirung oder einen directen Strom, und jede Torsion und Detorsion, die im entgegengesetzten Sinne wirkt, erzeugt eine Demagnetisirung oder einen umgekehrten Strom. Der betreffende Versuch läßt sich leicht anstellen mit zwei Bündeln von gleichem Eisendraht, die man senkrecht aufhängt und so drillt, daß das eine eine rechtslaufende und das andere eine links laufende Schraubenlinie bildet. Beide haben den Nordpol oben und den Südpol unten. Ihre Einschiebung in die Spirale macht die Nadel rechts abweichen. Hat man aber den Nordpol eines dieser Bündel eingespannt, und giebt dem Südpol temporäre Torsionen, so sieht man, daß eine Torsion von gleichem Sinne entgegengesetzte Ströme hervorbringt, je nachdem man sie an dem einen oder dem anderen dieser Bündel angebracht hat. Man braucht also nur, wie Wertheim bemerkt, dem Apparate einen Commutator hinzuzufügen, und damit nach jeder Oscillation den Strom umzukehren, um, mittelst drehender Schwingungen, einen continuirlichen Strom zu erhalten, den man würde sehr intensiv machen können.

Der Volta-Inductionapparat, bei welchem die Induction elektrischer Ströme durch eine von einem galvanischen Strome durchflossene Spirale bewirkt wird, hat eine verbesserte Einrichtung durch Poggendorff*) erfahren, welche sich namentlich auf eine vortheilhaftere Construction der sogenannten Inductionsrolle, in welcher der inducirte Strom entwickelt wird, und auf den Condensator bezieht, welcher mit einem solchen Apparate zur Verstärkung mancher Wirkungen der Inductionselektricität verbunden werden kann. Die verschiedenen Erscheinungen an diesem Apparate sind von Poggendorff an dem bezeichneten Orte beschrieben.

Magnetometer sind die großen Stabmagnete, welche Gauß zur Bestimmung der periodischen Variationen des Erdmagnetismus und zur Messung der absoluten Intensität desselben benutzte.

Da das Verständniß wesentlich erleichtert wird durch Kenntniß der ganzen Gauß'schen Beobachtungsweise, so geben wir im Folgenden nach den Resultaten des Göttinger Vereins im Jahre 1836, Göttingen 1837, eine ausführlichere Beschreibung.

Zur Aufstellung der magnetischen Instrumente eignet sich am besten ein länglich viereckiger Saal, der nach der Richtung des magnetischen Meridians ungefähr 11 Meter Länge hat. Der Saal muß helles Licht haben, vorzüglich von Osten und Westen her, und an demjenigen Ende, wo der Theodolith oder das Fernrohr nebst Scala, zum Beobachten, aufgestellt werden sollen. Uebrigens wird erfordert, daß der Saal vor Luftzug geschützt ist, und daß ein festes Fundament vorhanden sei, auf welchem ein Theodolith und eine Uhr aufgestellt werden können. Auch ist zu wünschen, daß von der Stelle des Theodolithenfernrohrs aus durch eines der Fenster ein entferntes Object zu sehen sei, dessen Azimuth bekannt ist. Es ist ferner wünschenswerth, daß das ganze Gebäude in keinem seiner Theile Eisen enthalte; der Fußboden in der Nachbarschaft des Instrumentes muß jedenfalls davon frei sein.

*) Ann. Bd. XCIV. S. 310.

Die Uhr und der Theodolith müſſen 5 bis 6 Meter von dem Inſtrumente entfernt ſtehen, in welcher Entfernung etwa magnetiſche Theile derſelben einen nicht bemerkbaren Einfluß ausüben. Außer dem Umkreiſe des Saales haben kleine Eiſenſtücke noch weniger Einfluß; aber die Einwirkung größerer Anhäufungen von Eiſen, z. B. eiſerner Geländer in einer Entfernung von weniger als 100 Fuß darf nicht vernachläſſigt werden. Ein ſolches Local iſt für die Deklinations- und Intenſitätsmeſſungen, ſo wie zur Beobachtung der Variationen genügend. Auch Inklinationsmeſſungen können in demſelben Locale vorgenommen werden, jedoch nicht ohne Unterbrechung der übrigen Beobachtungen, weshalb es angemeſſen erſcheint, für die Inklinationsmeſſungen ein eigenes Local einzurichten. Wo keine abſoluten Meſſungen gemacht, ſondern nur die Deklinationsvariationen an den dazu verabredeten Terminen beobachtet werden ſollen, ſind im Betreff des Locales nicht ſo ängſtliche Rückſichten hinſichtlich des Eiſens zu nehmen, wenn nur das Eiſenwerk während der Beobachtungen unverrückt bleibt.

Zur Aufſtellung der Inſtrumente in dieſem Saale iſt es weſentlich, eine Linie, z. B. auf dem Fußboden, zu ziehen, welche den magnetiſchen Meridian bezeichnet. Dieſe Linie muß nahe durch die Mitte des Saales gehen und an ihrem ſüdlichen oder nördlichen Ende die Stelle treffen, wo ſich ein feſtes Fundament für die Aufſtellung des Theodolithen und der Uhr befindet. Wenn dies Fundament errichtet und der Theodolith darauf geſtellt iſt, ſo befeſtige man zuerſt eine Scala an dem Stative unter dem Fernrohre, ſo daß ein vom Objective des Fernrohres herabgefälltes Perpendikel frei vor der Scala vorbeigeht. Dieſe Scala ſoll horizontal und rechtwinkelig gegen den magnetiſchen Meridian ſtehen und nach Belieben etwas höher oder tiefer geſtellt werden können. Der durch die optiſche Are des Fernrohres gehende magnetiſche Meridian ſoll ſie halbiren. Hierauf fälle man von der Decke auf den Fußboden ein ſolches Perpendikel, daß die durch daſſelbe gelegte magnetiſche Meridianebene die optiſche Are des Fernrohrs enthalte, und daß, wenn das *Magnetometer* an dieſem Perpendikel aufgehangen wird, die Abſtände der ſpiegelnden Ebene des Magnetometers von der Scala und vom Fernrohre zuſammen ſo groß ſind, wie der Abſtand des Fernrohrs von einem an der gegenüberliegenden Wand bezeichneten Punkte, welcher als Mire dient, auf den das Fernrohr eingeſtellt werden kann. An der Stelle der Decke, von der dies Perpendikel herabgefällt wurde, ſoll der *Träger* des Magnetometers nebſt *Hebeſchraube* und *Faden* befeſtigt werden. Man hänge an den von der Hebeſchraube herabhängenden Faden vorläufig ein Gewicht als Senkel an, verſchiebe den Träger an der Decke ſo lange, bis dieſer Senkel mit jenem Perpendikel zuſammenfällt und richte dabei den Träger ſeiner Länge nach der nördlichen oder ſüdlichen Wand des Saales parallel. Hierauf wird die Höhe des Trägers, des Fernrohrs und der Scala über dem Fußboden gemeſſen. Von der erſten Höhe wird die halbe Summe der beiden letzteren abgezogen, und ein Faden aus parallelen Coconfäden gebildet, der dieſe Differenz zur Länge hat und ſtark genug iſt, um das Magnetometer nebſt 1 Kilogramm Belaſtung zu tragen. Das obere Ende dieſes Fadens wird an der Schraube befeſtigt, das untere Ende am *Schiffchen*, in welches der Magnetſtab eingelegt werden kann. Unter dem Magnetſtab wird ein *weiter* Kaſten geſtellt, auf deſſen Boden ſich zwei Lager befinden, auf welche der Magnetſtab, im Falle die Coconfäden riſſen, fallen würde, ohne Gefahr für den Spiegel, der am vorderen Ende des Magnetſtabes befeſtigt iſt.

Nach diesen Vorbereitungen können die genaueren Abmessungen beginnen, nämlich:

1) die magnetische Axe des Magnetes horizontal und den Spiegel darauf perpendicular zu stellen, oder den kleinen Winkel zu messen, den die Spiegelaxe mit der magnetischen macht;
2) beim mittleren Stande des Magnetes die Torsion des Fadens auf Null zu bringen, oder den kleinen Rest der Torsion zu messen;
3) das Verhältniß des Torsionsmomentes des Fadens und des magnetischen Momentes des Stabes bei einer Ablenkung zu bestimmen;
4) die Stelle für die Mire an der dem Fernrohre entgegenstehenden Wand abzumessen.

Auf diese Weise ist der Apparat zu den Deklinationsmessungen vorbereitet, welche bestehen:

1) in Messung des Azimuths der Mire;
2) in Bestimmung des Werthes der Scalentheile;
3) in Bestimmung der Schwingungen und Elongationen.

Für die Intensitätsmessungen wird außerdem die Auflegung von Meßstangen erfordert, nach welcher die Lage des Ablenkungsstabes bestimmt wird. Diese Meßstangen können zu beiden Seiten des Kastens, in welchem das Magnetometer eingeschlossen wird, horizontal und dem magnetischen Meridiane parallel gelegt werden, in der Art, daß die Linien, welche entsprechende Punkte beider Maße verbinden, horizontal und rechtwinkelig gegen den magnetischen Meridian sind. Diese Stangen können so hoch gelegt werden, daß der auf ihnen aufgelegte Ablenkungsstab in gleicher Höhe mit dem schwingenden Stabe sich befindet. Wenn dies nicht der Fall ist, muß der Verticalabstand jenes auf den Meßstangen liegenden Ablenkungsstabes und des schwingenden Stabes gemessen werden. Die Meßstangen müssen 5 bis 6 Meter Länge haben und nach Süden und Norden fast gleich weit das Magnometer überragen. Wenn es die Breite des Saales gestattet, ist es vortheilhaft, eine dritte Meßstange horizontal und rechtwinkelig mit den beiden vorigen zu verbinden. Sie kann so unter dem Kasten des Magnetometers weggehen, daß sie von einem Perpendikel getroffen wird, der von der Mitte zwischen dem Aufhängepunkte und Schwerpunkte des schwingenden Stabes herabgefällt wird. Die Meßstangen müssen ihrer Länge nach etwas verschoben werden können, um sie so einzustellen, daß der Ablenkungsstab, auf entsprechende Punkte vor und hinter dem Kasten aufgelegt, gleiche Ablenkungen hervorbringt. Nach diesen Vorbereitungen besteht die Intensitätsmessung:

1) in der Bestimmung des Trägheitsmomentes des Ablenkungsstabes;
2) in der Messung der Schwingungsdauer des Ablenkungsstabes;
3) in der Messung der Ablenkung eines aufgehangenen Hülfsstabes durch den Ablenkungsstab bei 2 verschiedenen Entfernungen des letzteren im Süden und Norden oder im Osten und Westen vom Magnetometer.

Vorstehendem fügen wir noch einige Bemerkungen und nähere Erläuterungen hinzu.

Der Abstand des Spiegels von dem Fernrohre und von der Mitte der Scala, über welche ein vom Theodolithenfernrohre herabgesenktes Loth weggeht, sind zusammen so groß, wie der Abstand des Fernrohres von der Mire.

Bei Beobachtung der Deklinationsvariationen braucht das Fernrohr nur in verticaler Ebene drehbar zu ſein, und wird von Zeit zu Zeit ſtatt auf den Spiegel auf die Mire gerichtet, um zu prüfen, ob das Fernrohr noch feſtgeſtanden hat. Das Fernrohr muß bei 5 Meter Abſtand der Scala und des Fernrohres vom Spiegel wenigſtens eine dreißigmalige Vergrößerung geben.

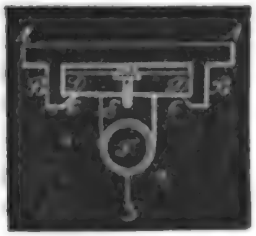
Die Uhr muß deutlich Secunden ſchlagen und das Zifferblatt von dem Beobachter bequem zu ſehen ſein. Ein Chronometer iſt ausreichend.

Das Magnetometer beſteht für die Deklinationsmeſſungen aus folgenden nothwendigen Theilen: dem Magnetſtabe, dem Schiffchen nebſt Torſionskreiſe, dem Träger nebſt Schraube und Faden, dem Spiegel und Spiegelhalter, dem Torſionsſtabe, der Scala und dem Beruhigungsſtabe, wozu für die Intenſitätsmeſſungen noch folgende Theile kommen: die Meßſtangen, der Ablenkungsſtab, die Gewichte und der Gewichtshalter.

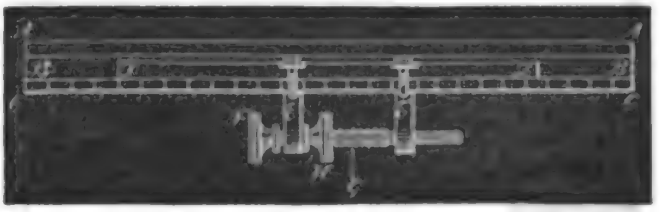
Beiſtehende Figur I. zeigt den Träger nebſt Schraube und Faden von Weſten geſehen. AA iſt ein an die Decke befeſtigtes Brett, BB ſind zwei darauf befeſtigte parallele Holzleiſten, zwiſchen denen ſich ein Schieber DD von Oſten nach Weſten bewegen läßt, der von zwei vorſpringenden Leiſtchen CC getragen wird; am Schieber ſind durch Schrauben die meſſingenen Lager E (ſ. Figur II.) befeſtigt, durch welche die Hebeſchraube in der Richtung von Oſten nach Weſten hindurchgeht; F iſt ihr Schraubenkopf am weſtlichen Ende, der in der erſten Figur die Schraube ſelbſt verdeckt; G iſt der an der Schraube befeſtigte Faden.

Figur II. ſtellt denſelben Träger nebſt Schraube und Faden von Süden geſehen vor. AA iſt hier Längendurchſchnitt des Brettes; BB die nördliche an daſſelbe befeſtigte Leiſte; CC das Leiſtchen zum Tragen des Schiebers; DD der Schieber ſeiner Länge nach mit den meſſingenen Lagern EE′. Durch dieſe

I.



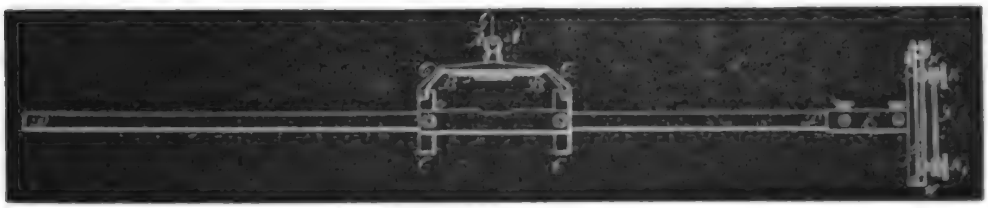
II.



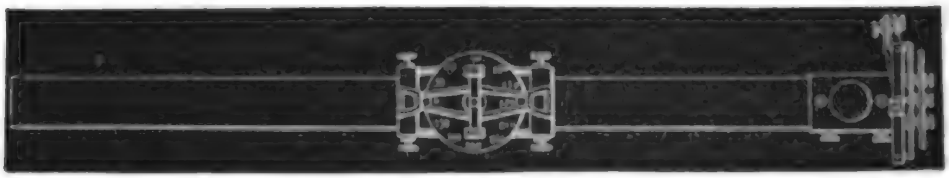
Lager geht die Hebeſchraube hindurch, deren Kopf F iſt. Dieſe Schraube greift mit ihrem Gewinde in das Lager E ein und wird daran von der Gegenmutter H feſtgedrückt. Das Schraubenende bei E′ iſt glatt, wie die Oeffnung des Lagers E′. Am Ende der Schraubengewinde iſt der Faden G befeſtigt und liegt in den Schraubengängen, in denen er bis zur Mitte zwiſchen beiden Lagern fortläuft, von da ſenkrecht herabhängt und am unteren Ende das Schiffchen des Magnetometers trägt. Soll der Faden gehoben werden, ſo wird die Gegenmutter H gelöſt und dann die Schraube am Schraubenkopfe F in ihren Lagern gedreht, wobei der Faden ſtets unverrückt an ſeinem urſprünglichen Orte bleibt, da die Schraube mit ihrem Gewinde ſich ſtets eben ſo viel vorwärts oder rückwärts ſchraubt, als der Faden nach der entgegengeſetzten Seite weiter rückt.

Zur näheren Kenntniß des Magnetometertheiles, deſſen Schwingungen eben beobachtet werden ſollen, geben wir die Anſicht von Weſten und von oben.

I.



II.

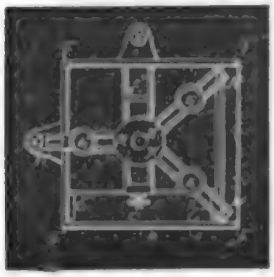


Zunächſt bemerken wir zwei Haken A A, von denen in der erſten Figur der hintere von dem vorderen verdeckt wird. An einem unter dieſe beiden Haken greifenden Stifte wird das untere Ende des Fadens G befeſtigt. B B iſt der Torſionskreis; C C C C das Schiffchen; D D der Magnetſtab und E der Spiegelhalter mit zwei Rähmchen F F′, H H und den zur Aufnahme des Spiegels S dienenden Klemmen K K. Mit Ausnahme des Magnetſtabes D D, der allein 1700 Gramm wiegt, und des Spiegels, der ziemlich dick ſein muß, damit er ſich nicht biegt, ſind alle übrigen Theile aus dünnem Meſſing gearbeitet, um das Trägheitsmoment des Magnetometers nicht zu ſehr zu vergrößern. Der Faden, der das Schiffchen trägt, iſt nicht am Schiffchen unmittelbar, ſondern an einem Stifte angebunden, der unter die Haken A A greift, um, ohne ſeine Befeſtigung zu löſen, vom Schiffchen abgenommen werden zu können. Der Stift iſt mit zwei, ungefähr 40 Millimeter von einander abſtehenden Spitzen verſehen und greift damit in zwei kleine Vertiefungen der beiden Haken ein. Die beiden Federn unter dem Stifte halten denſelben, wenn das Schiffchen auch in die Höhe gehoben wird. Bei bedeutender über 3 Meter betragender Höhe und großem Gewichte des Magnetſtabes wählt man zum Aufhängen einen Eiſendraht von etwa doppelt ſo großer Tragkraft, als das Gewicht des Stabes beträgt, andernfalls einen Faden von 200 parallelen Coconfäden, von denen jeder 30 Gramm trägt. Der Torſionskreis B B iſt mit einem verticalen Zapfen verſehen, deſſen oberes Ende die Haken A A trägt und der von dem darum drehbaren Schiffchen umſchloſſen wird. Das Schiffchen ſelbſt ruht auf der Peripherie des Torſionskreiſes, wird jedoch durch ſeine Reibung an derſelben verhindert, ſich zu drehen. Der Spiegelhalter wird mittelſt einer Hülſe E an dem einen Ende des Magnetſtabes aufgeſteckt und durch 6 Klemmſchrauben feſtgeklemmt, von denen ſich zwei an jeder ſchmalen Seite und zwei über der breiteren befinden. An dieſer Hülſe iſt ein um eine verticale Axe drehbares Rähmchen F F′ angebracht. Eine kleine Druck- und Klemmſchraube, die zur Verſtellung und Feſtſtellung dieſes Rähmchens dienen, befinden

III.

ſich auf der abgewendeten Seite der Figur und ſind deshalb nicht ſichtbar. Mit dieſem erſten Rähmchen iſt ein zweites, um eine horizontale Are bei F' drehbares Rähmchen K K verbunden, welches gegen das erſtere mittelſt der oberhalb (ſ. Fig. I. S. 849) ſichtbaren Druck- und Klemmſchraube gleichfalls verſtellt und feſtgeſtellt werden kann. An dieſem zweiten Rähmchen ſind 3 Klemmen angebracht, welche den Spiegel S aufnehmen ſollen. An der erſten Figur ſind nur 2 dieſer Klemmen ſichtbar bei K und K', weil K' die dritte verdeckt.

Um von dem Spiegel eine noch deutlichere Anſchauung zu verſchaffen, geben wir noch die Anſicht deſſelben von Süden. Die Buchſtaben haben dieſelbe Bedeutung. Das Rechteck zwiſchen E und E'' iſt der Querſchnitt der Hülſe des Spiegelhalters. Dieſe Hülſe hat auf der einen Seite zwei Vorſprünge E'E', welche die verticale (in der Figur horizontale) Are des Rähmchens F F F' F' bilden. Bei E'' iſt ein dritter Vorſprung, gegen welchen die Druck- und Klemmſchraube wirken, die zur Verſtellung und Feſtſtellung dieſes erſten Rähmchens dienen. Bei F'F' iſt an dieſem erſten Rähmchen eine horizontale (in der Zeichnung verticale) Are angebracht, um welche ſich das zweite Rähmchen H H H H drehen kann. Dieſer Are gegenüber ſind an beiden Rähmchen kleine Vorſprünge, die durch Druck- und Klemmſchrauben ebenfalls gegenſeitig verſtellt und feſtgeſtellt werden können. In dem zweiten Rähmchen befinden ſich 3 Schlitze H H, H H, H H, in welchen 3 kleine Schieber verſchoben und feſtgeſtellt werden können. Durch dieſe Einrichtung wird der Raum zur Aufnahme des Spiegels der Größe deſſelben angepaßt. Dieſe 3 kleinen Schieber endigen nach Süden mit 3 kleinen verticalen Kreisflächen, auf welche die Kehrſeite des Spiegels mit ihren Rändern aufgelegt wird, während der Kopf einer Schraube, deren Gewinde am Spiegelrande vorbei in den Schieber eingreift, auf die Vorderfläche drückt.



Die umſtehend folgende Figur veranſchaulicht die Aufſtellung des Fernrohres zum Spiegel und zur Scala. Iſt das Fernrohr ein aſtronomiſches, ſo müſſen die Zahlen über der Theilung ſtehen. Daß die Zahlen ſo geſchrieben ſein müſſen, daß man ſie nach der Spiegelung richtig ſtehen ſieht, verſteht ſich von ſelbſt. Die Scala iſt wenigſtens 1 Meter lang.

Das Loth am Objective des Fernrohres beſteht aus einem feinen Drahte von dunkler Farbe, iſt unten mit einem Gewichte beſchwert und wird oben am Rande des Objectivs ſo befeſtigt, daß es genau über der Mitte des Objectivs herabhängt.

Der Spiegel hat 50 bis 70 Millimeter Höhe und 70 bis 100 Millimeter Breite und muß vollkommen eben ſein.

Das Schiffchen muß ſo geſtaltet ſein, daß der Magnetſtab umgelegt werden kann, d. h. daß er, ſowohl mit ſeiner breiten, als ſchmalen Seite aufgelegt, hineinpaßt. Es geſchieht dies deshalb, um die Lage des Spiegels gegen die magnetiſche Are des Magnetſtabes genau beſtimmen zu können.

Das Magnetometer befindet ſich in einem Kaſten, um es vor Luftſtrömungen zu ſchützen. Der bewegliche Deckel des Kaſtens iſt aus zwei Theilen zuſammengeſetzt, und in demſelben befindet ſich eine kleine Oeffnung für den Faden. Die

dem Fernrohre gegenüberſtehende Wand hat eine Oeffnung etwa von der Größe des Spiegels, um die von demſelben reflectirten Scalentheile ableſen zu können.

Um den Kaſten herum ſind Meßſtangen aufgelegt, die dazu dienen, im Süden und Norden oder im Oſten und Weſten des Magnetometers in vorgeſchriebenen Entfernungen und in vorgeſchriebener Lage einen anderen Magnetſtab aufzulegen, welcher den hängenden Stab aus dem magnetiſchen Meridiane ablenken ſoll.

Um zu erkennen, ob der Faden, an welchem der Magnetſtab hängt, bei der mittleren Stellung des letzteren ſeine natürliche, nicht von einer Drehung des Fadens bedingte, Lage habe, wird ſtatt des Magnetſtabes ein meſſingener Stab von gleicher Länge und Breite und faſt gleichem Gewichte, in welchem nur ein kleiner Magnet eingelegt iſt, um die Schwingungsdauer etwas abzukürzen, in das Schiffchen gelegt, und dieſer ſogenannte Torſionsſtab mittelſt des Torſionskreiſes in den magnetiſchen Meridian gebracht. Dieſer Torſionsſtab muß ebenfalls mit Spiegel und Spiegelhalter verſehen ſein.

Zur Intenſitätsmeſſung wird ein zweiter Magnetſtab von gleichen Dimenſionen wie der Hauptſtab erfordert, der ebenfalls in das Schiffchen eingelegt werden kann. Derſelbe muß auch als Ablenkungsſtab dienen, weshalb er in ein hölzernes Käſtchen gepaßt wird, das außen mit ebenen, ſeiner magnetiſchen Axe parallelen Flächen und geraden Kanten begrenzt iſt, um ihm auf den Meßſtangen ſchnell und genau ſeine Stelle anweiſen zu können. Da man bei Intenſitätsmeſſungen das Trägheitsmoment des Ablenkungsſtabes wiſſen muß, ſo legt man über den ſchwingenden Magnetſtab quer einen dünnen, über 700 Millimeter langen, Holzſtab und hängt an dieſen zu beiden Seiten des Magnetſtabes zwei gleiche Gewichte — jedes von 500 Grammen — ſucceſſive in 3 verſchiedenen Entfernungen von einander an. Die umſtehende Figur giebt die nöthige Anſchauung.

Die Gewichte ſind mit Henkeln verſehen, welche ein Hütchen nach unten kehren, um da auf eine feine Spitze geſtellt zu werden, die aus der Holzleiſte hervorragt. Die beiden mittelſten Spitzen, welche 100, und die beiden äußerſten, welche 700 Millimeter von einander abſtehen, ſind feſt eingeſetzt; die dazwiſchen ſtehenden können in verſchiedene Vertiefungen eingeſetzt werden, die von 50 zu

50 Millimeter mit mikroſkopiſcher Genauigkeit angebracht ſind. — An dieſer Figur iſt zugleich der den Faden haltende Stift in ſeiner Befeſtigungsweiſe am beſten zu ſehen.

Um die Schwingungen nach Belieben moderiren zu können, bedient man ſich des ſogenannten Beruhigungsſtabes, d. h. eines Magnetſtabes, der halb ſo lang und breit und 4 Mal leichter iſt, als der Hauptſtab. Derſelbe wird von dem Beobachter hinter dem Theodolithen horizontal und rechtwinkelig gegen den magnetiſchen Meridian gehalten. Auf dieſe Weiſe kann man eine Ablenkung von einer Bogenminute hervorbringen, während derſelbe in verticaler Stellung keine Wirkung äußert.

Was die Beobachtungsweiſe betrifft, ſo verſteht ſich zunächſt von ſelbſt, daß bei correſpondirenden Beobachtungen eine Uebereinkunft wegen der Zeit getroffen ſein muß. Man legt hierbei die Göttinger Zeit zu Grunde und beobachtet an den feſtgeſetzten Terminen von 5 zu 5 Minuten.

Unter dem Stande der Magnetnadel, welcher für die einzelnen Zeitmomente beſtimmt werden ſoll, iſt hier diejenige Stellung der magnetiſchen Axe zu verſtehen, welche ſie haben würde, wenn ſie in dieſem Augenblicke im magnetiſchen Meridiane wäre. Wegen der Schwankungen des Magnetſtabes kann dieſe Stellung nicht unmittelbar beſtimmt werden.

Die ſich zuerſt darbietende Methode beſteht darin, daß man die Nadel abſichtlich im ſchwingenden Zuſtande beobachtet, zwei auf einander folgende äußerſte Stellungen — ein Minimum und ein Maximum — an der Scala aufzeichnet und zwiſchen beiden das Mittel nimmt. Bei großen Schwingungsbogen iſt dies Verfahren jedoch wegen der Abnahme des Bogens nicht genau, und man wird wenigſtens das Mittel aus zwei ſolchen Mitteln nehmen müſſen, die aus drei auf einander folgenden Elongationen ſich ergeben. Man erhält dann den Stand zur Zeit der zweiten Elongation. Ein Uebelſtand bleibt bei dieſem Verfahren, daß man nämlich nicht für den Augenblick den Stand des Magnetſtabes finden wird, für welchen man denſelben verlangt.

Ein genaueres Verfahren beſteht darin, daß man, wenn man den Stand des Magneten zur Zeit T wiſſen will, ſchon vorher in ein paar Zeitmomenten und in eben ſo vielen nachher den Stand des Magnets beobachtet, wobei allerdings die kleinen Zeitintervalle immer gleich ſein müſſen. Das Mittel aus allen dieſen Reſultaten wird das richtige Reſultat für den Moment T ſein, ſofern während der ganzen Zeit der Beobachtungen die Aenderung der Deklinationen als gleichförmig betrachtet werden darf. Beobachtet man z. B. in den Zeiten $T - {}^5/_2\,t$, $T - {}^3/_2\,t$, $T - {}^1/_2\,t$, $T + {}^1/_2\,t$, $T + {}^3/_2\,t$, $T + {}^5/_2\,t$ und ſind die aufgezeichneten Zahlen a, b, c, d, e, f, ſo wird

$$^1/_5\,[^1/_2\,(a+b) + {}^1/_2\,(b+c) + {}^1/_2\,(c+d) + {}^1/_2\,(d+e) + {}^1/_2\,(e+f)]$$

das Endreſultat für die Zeit T ſein.

Um die Intenſität des Erdmagnetismus zu beſtimmen, beobachtet man die Schwingungsdauer eines Magnetſtabes NS und berechnet daraus das Drehungsmoment, welches der Erdmagnetismus auf dieſen Stab ausübt. Dies Drehungsmoment iſt das Product

$$MT = \frac{C}{t^2},$$

wo T den Erdmagnetismus, M den Magnetismus des ſchwingenden Stabes, t die Schwingungsdauer und C das mit $\frac{\pi^2}{2g}$ multiplicirte Trägheitsmoment bezeichnet (g als Fallraum in der Zeiteinheit genommen).

Hängt man dann einen zweiten Stab ns auf, beobachtet zuerſt ſeine Einſtellung unter dem reinen Einfluſſe des Erdmagnetismus, und nachher, indem NS in beträchtlicher Entfernung ſenkrecht auf die Richtung ns aufgelegt iſt; ſo kann man aus dem Unterſchiede beider Stellungen oder der Ablenkung berechnen, welch ein Bruchtheil die Kraft des Stabes NS von der erdmagnetiſchen Kraft in der gewählten Entfernung iſt. Ein eben ſo großer Bruchtheil von dem vorher gefundenen Drehungsmomente lehrt uns das Drehungsmoment kennen, welches in jener Entfernung der Stab NS einem ihm gleichen ertheilen würde. Dies Reſultat mit dem Cubus der Entfernung multiplicirt, giebt das reducirte Drehungsmoment; die Quadratwurzel daraus die Kraft des Stabes NS im abſoluten Maße; endlich die vorher aus dem Drehungsmoment für T gefundene Zahl durch dieſe Quadratwurzel dividirt, die Zahl für das abſolute Maß des Erdmagnetismus; alſo

$$T = \frac{1}{t}\sqrt{\frac{2C}{R^3 \operatorname{tgs} v}},$$

wo R die Entfernung der beiden Stäbe und v die Ablenkung bezeichnet.

Als Gewichtseinheit liegt hier ein Gramm zu Grunde und zwar der Druck, welchen das Quantum Materie, welches das Gewicht enthält, unter dem Einfluſſe der Schwerkraft an dem Beobachtungsorte ausübt. Wegen des Näheren müſſen wir auf die Originalabhandlung verweiſen: Intensitas vis magnet. etc. und auf einen mehr populär gehaltenen Aufſatz von Gauß über Erdmagnetismus und Magnetometer in Schumacher's aſtronomiſchem Jahrbuch für 1836. Wir brauchen hier um ſo weniger darauf einzugehen, da Gauß ſelbſt in dem Bifilarmagnetometer eine ſicherere Methode die Intenſität zu beſtimmen angegeben hat, als es durch die Ermittelung der Schwingungsdauer möglich war.

Das Bifilarmagnetometer beruht auf Folgendem:

Die Bedingungen des Gleichgewichts eines an zwei Fäden aufgehängten Körpers von beliebiger Geſtalt, deſſen Theile einſtweilen blos der Schwerkraft unterworfen und in feſtem Zuſammenhange vorausgeſetzt werden, laſſen ſich kurz ſo zuſammenfaſſen, daß die Verticale durch den Schwerpunkt des Körpers und die durch die Fäden dargeſtellten geraden Linien ſich in einer Ebene befinden und zugleich entweder unter ſich parallel ſein, oder ſich in einem Punkte ſchneiden müſſen. Allemal ſind alſo bei der Gleichgewichtsſtellung die beiden Fäden und der Schwer-

punkt in einer Verticalebene. Setzen wir voraus, daß die beiden Fäden gleich lang, ihre oberen Anknüpfungspunkte in gleicher Höhe sind und von einander eben so weit abstehen, wie die beiden unteren, endlich, daß die letzteren mit dem Schwerpunkte ein gleichschenkliges Dreieck bilden, so werden im Gleichgewichtszustande die beiden Fäden vertical hängen, und eine dritte Verticallinie — mitten zwischen diesen Fäden gedacht — wird den Schwerpunkt des Körpers treffen. Bringt man den Körper aus dieser Lage mittelst einer Drehung um letztere Linie, so werden die beiden Fäden nicht mehr vertical und auch nicht mehr in einer Ebene sein, und zugleich wird der Körper etwas gehoben. Es entsteht demnach ein Bestreben, zu der vorigen Lage zurückzukehren mit einem Drehungsmomente, welches mit hinlänglicher Genauigkeit dem Sinus der Ablenkung von der Ruhestellung proportional gesetzt werden kann, also am größten ist, wenn die Ablenkung 90° beträgt. Dieses größte Drehungsvermögen wird immer stillschweigend verstanden, wenn man vom Drehungsmoment schlechthin spricht. Man kann dasselbe auch als das Maß einer Kraft ansehen, mit welcher der Körper vermöge der Aufhängungsart in seiner Gleichgewichtsstellung gehalten wird, und die der Kürze wegen die aus der Aufhängungsart entspringende Directionskraft genannt werden kann. Ihre Größe hängt ab: 1) von der Länge der Aufhängefäden, 2) deren Abstande, 3) dem Gewichte des Körpers, und zwar so, daß sie der Länge der Fäden verkehrt, dem Quadrate ihres Abstandes direct und dem Gewichte des Körpers gleichfalls direct proportional ist. Bei einer anderen Aufhängungsart ist der Ausdruck für die Directionskraft complicirter. Ueberläßt man den Körper nach einer kleineren oder größeren Ablenkung von der Gleichgewichtsstellung sich selbst, so wird er mit der größten Regelmäßigkeit Schwingungen machen, deren Mitte mit dieser Stellung zusammenfällt, und deren Dauer von der Größe der Directionskraft und dem Trägheitsmomente des Körpers abhängt.

Macht nun ein horizontaler Magnetstab einen Bestandtheil des aufgehängten Körpers aus, so tritt eine zweite Directionskraft mit ins Spiel, und die Erscheinungen hängen von der Zusammensetzung der beiden Directionskräfte ab. Die beiden Stellungen des Körpers, in welchen er vermöge jeder der beiden Kräfte für sich allein im Gleichgewichtszustande sein würde, können hierbei entweder zusammenfallen, oder entgegengesetzt sein, oder einen Winkel mit einander bilden. Man sieht leicht, daß der Unterschied dieser drei Fälle auf dem Verhältnisse der beiden Winkel beruht, welche einerseits die gerade Linie durch die beiden unteren Anknüpfungspunkte der Fäden mit dem Magnetstabe, und andererseits die gerade Linie durch die beiden oberen Befestigungspunkte mit dem magnetischen Meridian macht. Denkt man sich den Körper in derjenigen Gleichgewichtslage, die durch die Aufhängungsart allein bedingt wird, so wird im ersten Falle der Magnetstab im magnetischen Meridian sein müssen mit dem Nordpole auf der Nordseite, im zweiten Falle ebenfalls im Meridian, aber in entgegengesetzter Lage und im dritten Falle muß er mit dem magnetischen Meridiane einen Winkel machen. Die erste Lage heißt die natürliche, die zweite die verkehrte, die dritte die transversale.

Bei der natürlichen Lage wird der Apparat mit der Summe der beiden Directionskräfte in der der Aufhängungsart entsprechenden Gleichheitsstellung zurückgehalten.

Bei der verkehrten Lage ist das Gleichgewicht nur dann stabil, wenn die magnetische Directionskraft kleiner ist, als die Directionskraft vermöge der Auf-

hängungsart, und der Apparat wird nur mit einer Kraft zurückgehalten, welche die Differenz jener beiden Directionskräfte iſt. Findet dies nicht ſtatt, ſo ſtellt ſich der Apparat in ſeine natürliche Lage, aber die Fäden kreuzen ſich.

In der transverſalen Lage wird durch den Conflict beider Kräfte eine Zwiſchenſtellung vermittelt.

Bietet der Apparat Mittel dar, die Winkel zwiſchen den drei in Rede ſtehenden Stellungen zu meſſen, ſo läßt ſich das Verhältniß der beiden componirenden Directionskräfte berechnen, und folglich kann man auch die magnetiſche Directionskraft in abſolutem Maße angeben, wenn die Directionskraft vermöge der Aufhängungsart in abſolutem Maße bekannt iſt. Die Aufgabe iſt dann gelöſt. Am vortheilhafteſten iſt es übrigens, das Einbiegen des Magnetſtabes relativ gegen die anderen Theile des Apparats ſo einzurichten, daß jener in der vermittelten Gleichgewichtsſtellung nahe einen rechten Winkel mit dem magnetiſchen Meridian macht, welchem Falle alſo die Bewegung der transverſalen Lage vorzugsweiſe angemeſſen iſt. Theils iſt nämlich dann die Ablenkung der Fäden von ihrer Lage in einer Ebene am größten, und damit die Berechnung des Reſultats am ſchärfſten, theils hat dann auch eine kleine Veränderung der magnetiſchen Deklination vermöge der ſtündlichen oder zufälligen Variationen auf die Stellung keinen merklichen Einfluß. Dagegen aber afficirt eine jede Vränderung in der Stärke des Erdmagnetismus die Stellung unmittelbar, und läßt ſich mit derſelben Leichtigkeit, Schnelligkeit und Schärfe ſogleich erkennen und meſſen, wie das Spiel der Veränderungen der Deklination am gewöhnlichen Magnetometer.

Ein ſich hierauf gründender Apparat wurde zuerſt aufgeſtellt in der Göttinger Sternwarte an zwei, 17 Fuß langen Stahldrähten, oder genauer an einem einzigen, deſſen Enden unten an den Apparat angeknüpft waren, während ſeine Mitte oben über zwei Cylinder ging, die ihn etwa $1^1/_2$ Zoll aus einander hielten. Hierdurch erhielten die beiden Stränge von ſelbſt gleiche Spannung. Der an den Drähten hängende Apparat ſelbſt beſteht aus vier Haupttheilen. Der erſte, an welchem die Drähte feſt ſind, iſt eine horizontale, in Viertelsgrade auf Silber eingetheilte Kreisſcheibe von 4 Zoll Durchmeſſer. Der zweite Theil beſteht aus einer auf dem Limbus des Kreiſes, concentriſch mit dieſem drehbaren Alhidade mit zwei Verniers, die einzelne Minuten geben, einer damit feſt verbundenen ziemlich ſtarken gegen die Kreisebene ſenkrechten Stange und einem daran befindlichen ſehr vollkommenen kreisrunden Spiegel von $1^1/_2$ Zoll Durchmeſſer, in welchem man durch ein, 16 Fuß entferntes Fernrohr das Bild eines Stückes einer in einzelne Millimeter getheilten, unterhalb des Fernrohrs befeſtigten horizontalen Scala ſieht. Auf dieſe Weiſe iſt alſo jede Veränderung in der Lage des Kreiſes zu erkennen und zu meſſen; und zwar kleine Veränderungen unmittelbar mit äußerſter Schärfe durch die im Fernrohre ſich zeigenden Scalentheile, größere, indem man damit eine Alhidadenbewegung verbindet und die Verniers abliеſt. Der dritte Theil iſt das unter dem Kreiſe befindliche Schiffchen, nämlich ein doppelter Rahmen, durch welchen der vierte Beſtandtheil, ein 25 Pfund ſchwerer ſtarker Magnetſtab geſteckt wird. Dieſes Schiffchen iſt gleichfalls um das Centrum des Kreiſes drehbar und mit zwei auf dem Kreislimbus aufliegenden Verniers verſehen, wodurch man die Größe der Drehung auf die Minute meſſen kann.

Von den drei oben bezeichneten Lagen bietet die erſte keine beſonders wichtige praktiſche Anwendung dar; die zweite läßt ſich benutzen die täglichen und

ſtündlichen Variationen der magnetiſchen Deklination vergrößert darzuſtellen, was jedoch jetzt nicht mehr nöthig iſt, da die gewöhnlichen Magnetometer alles leiſten, was man nur wünſchen kann. Der Gebrauch des Apparates bei der dritten oder transverſalen Lage iſt für die Intenſität beſonders wichtig.

Wenn man von der natürlichen Lage ausgehend durch eine Drehung des Schiffchens den Magnetſtab aus dem magnetiſchen Meridiane bringt, ſo muß ſich der ganze Apparat, um zum Gleichgewichte zu kommen, um einen gewiſſen, dem Verhältniſſe der beiden Directionskräfte entſprechenden Winkel zurückdrehen; die Differenz dieſer beiden Winkel wird die Abweichung des Magnetſtabes von dem magnetiſchen Meridian in der Gleichgewichtsſtellung ſein, und man kann es leicht ſo einrichten, daß dieſe Abweichung nahe 90° beträgt, wodurch die oben bereits angeführten Vortheile erreicht werden. Eine Aenderung der Intenſität giebt ſich dann unmittelbar durch den veränderten Stand kund. In Beziehung auf die unregelmäßigen, in kurzen Zeitfriſten wechſelnden Veränderungen der Intenſität leiſtet der Apparat ganz daſſelbe, wie das Magnetometer in Beziehung auf ähnliche Aenderungen der Deklination; auch iſt die Beobachtung an beiden Apparaten ganz gleich. Bei Beobachtungen nach längeren Zeitfriſten muß natürlich die Stärke des Magnetismus im Stabe revidirt werden; auch die Temperaturveränderungen kommen in Betracht, einmal inſofern ſie dieſe Stärke und dann auch, inſofern ſie die Diſtanz und Länge der Aufhängungsdrähte und damit die der Aufhängungsart zukommende Directionskraft afficiren. Die Veränderungen der Intenſität erhält man zunächſt in Scalentheilen ausgedrückt, die man jedoch leicht auf Bruchtheile der Intenſität ſelbſt zurückführen kann. An dem Göttinger Apparate entſprach einem Scalentheile der 22000ſte Theil der ganzen Intenſität. Ein Hauptvorzug des Biſilarmagnetometer vor dem einfachen Magnetometer beſteht darin, daß dieſes für ſich allein die Intenſität nur in ihrem Mittelwerthe während eines gewiſſen Zeitraumes geben kann, während jenes die ſchnellwechſelnden Aenderungen auf das befriedigendſte nachweiſt.

Wir fügen Vorſtehendem noch einige Bemerkungen über die Einrichtung und den Gebrauch des Biſilarmagnetometer bei.

Große Magnetſtäbe ſind vorzuziehen; ein vierpfündiger Stab kann aber zur Noth ſchon genügen. Zum Aufhängen iſt eine beträchtliche Höhe erforderlich, weshalb man die Decke des Locals durchbohrt und die Drähte ſo hoch fortführt, als es das Dach geſtattet. Das Gebäude braucht nicht eiſenfrei zu ſein, wenn man nur aus der Nähe des Apparates und des Gebäudes alles Eiſen entfernt. Iſt das Obſervatorium für das Magnetometer groß genug, ſo kann auch das Biſilarmagnetometer in demſelben aufgeſtellt werden, wodurch überdies Manches erſpart wird. Hierbei iſt beachtenswerth, daß die beiden Magnetometer in einem großen Saale ſich auf ſolche Weiſe gegen einander ſtellen laſſen, daß die mittlere Deklination ganz ungeändert bleibt, und die Variationen der Deklination und der Intenſität nur in ſoweit afficirt werden, daß der Werth der Scalentheile etwas anders beſtimmt werden muß, als außerdem. Dies iſt der Fall, wenn der Pfeiler, auf welchem die Theodolithen ſtehen, mit den beiden Magnetometern ein Dreieck bildet, deſſen eine Seite — nämlich die zwiſchen dem Pfeiler und dem Deklinations-Magnetometer — im magnetiſchen Meridiane liegt, während die andere Seite — nämlich die gerade Linie, welche die Mittelpunkte beider Magnetometer verbindet — einen Winkel von 35° 15′ 52″ mit dem magnetiſchen Meridian macht.

Gauß hat in einer ſehr einfachen geometriſchen Conſtruction die vollſtändige Löſung der Frage von der Wechſelwirkung zweier Magnete aus großer Entfernung bei ganz beliebiger gegenſeitiger Lage gegeben *).

---

*) Wenn A die Mitte eines kleinen Magnetes n s, A B die Verlängerung von n s, C ein Theilchen freien Magnetismus des anderen Stabes, A C B ein rechter Winkel, $AD = \frac{1}{3} AB$ iſt, ſo iſt C D die Richtung der Kraft, welche auf C wirkt, wenn C ein nordmagnetiſches Theilchen iſt. Iſt C ein ſüdmagnetiſches Theilchen, ſo würde die Verlängerung von C D über C hinaus die Richtung der Kraft ſein. Es iſt nun $\frac{CD}{AD} \cdot \frac{Mm}{AC^3}$ die Größe der Kraft, wenn M den Magnetismus von n s, m den Magnetismus in C bezeichnet. — Den Beweis dieſes Satzes ſiehe im Art. Magnetismus Bd. IV. S. 772..

I.

Es folgt hieraus, daß in der oben bezeichneten Lage die mittlere Deklination unverändert bleibt, und daß der Werth der Scalentheile für die Variationen der Deklination ſowohl, als auch der Intenſität nur inſofern geändert wird, als die Directionskraft beider Apparate eine Abänderung erleidet; denn der Werth der Scalentheile ändert ſich mit der Directionskraft und zwar in gleichem Verhältniſſe.

Die erſtere Behauptung ergiebt ſich aus der Betrachtung der Fig. I., wo A der Mittelpunkt des Intenſitätsſtabes n s, C der Mittelpunkt des in der Linie C D liegenden Deklinationsſtabes, C D die bei Aufſtellung des Apparates zu Grunde gelegte magnetiſche Meridianlinie iſt, und die gerade Linie A C, welche die Mittelpunkte beider Stäbe verbindet, den Winkel $ACD = 35^\circ\ 15'\ 52''$ mit dem magnetiſchen Meridian macht, oder genauer einen ſolchen Winkel A C D, daß

$$\sin ACD = \sqrt{\tfrac{1}{3}};\quad \cot. ACD = \sqrt{2};\quad \operatorname{cosec}. ACD = \sqrt{3}.$$

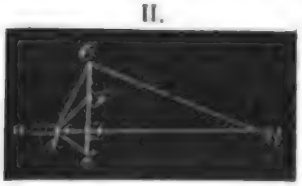
Nach dem aufgeſtellten Satze iſt dann nämlich C D die Richtung der Kraft, welche auf den Deklinationsſtab C wirkt, wenn, für $ACB = 90^\circ$, $AD = \frac{1}{3} AB$ iſt. Dies Letztere iſt aber wirklich der Fall, weil C D ſenkrecht auf A B iſt, da die magnetiſche Are C D des Deklinationsſtabes im magnetiſchen Meridiane, die magnetiſche Are A B des Intenſitätsſtabes ſenkrecht darauf liegen muß. Für den Halbmeſſer A C iſt A D der Sinus von A C D, A B die Secante von B A C oder die Coſecante von A C D; folglich

$$AD : AB = \sin ACD : \operatorname{cosec}. ACD = \sqrt{\tfrac{1}{3}} : \sqrt{3} = 1 : 3.$$

Die Kraft, mit welcher der Intenſitätsſtab auf den Deklinationsſtab wirkt, hat alſo die Richtung des magnetiſchen Meridians C D; kann folglich wohl auf die Schwingungsdauer des Deklinationsſtabes, deſſen Directionskraft dadurch etwas geändert wird, einigen Einfluß haben, keinen Einfluß aber auf deſſen Richtung, ſo lange dieſe mit dem angenommenen mittleren Meridiane C D zuſammenfällt; die Abweichungen davon werden aber durch jene Kraft etwas verkleinert oder vergrößert, je nachdem ſie mit dem Erdmagnetismus zuſammen oder ihm entgegen wirkt. Aber auch dieſer Einfluß wird berückſichtigt, wenn man den Bogenwerth der Scalentheile, worin die Abweichungen vom mittleren Meridiane ausgedrückt werden, der Directionskraft proportional verändert, d. h. um $\frac{\sqrt{2}}{AC^3} \cdot \frac{Mm}{Tm}$, wo nach obigem Satze

$$\frac{Mm}{AC^3} \cdot \sqrt{2} = \frac{Mm}{AC^3} \cot. ACD = \frac{CD}{AD} \cdot \frac{Mm}{AC^3} \text{ iſt.}$$

II.



Die letztere Behauptung, inſofern ſie die Variationen der Intenſität betrifft, ergiebt ſich, wenn auf C A in A (Fig. II.) ein Perpendikel errichtet wird, welches die verlängerte Linie C D in E ſchneidet. Alsdann ergiebt ſich aus der Aehnlichkeit der Dreiecke A C D, A B C, E A D, E C A, daß $ED = \frac{1}{3} EC$ iſt, weil $AD = \frac{1}{3} AB$ war. Folglich iſt, wenn C D in F halbirt wird, $CF = \frac{1}{3} CE$. Weil nun von C, C E, A, C A E, C F

Um bei der Höhe der Aufhängung nicht nöthig zu haben an der Decke Abänderungen vorzunehmen, mußten am Schiffchen mehrere Einrichtungen getroffen werden. Es mußten nämlich an diesem die Schrauben zur Verlängerung und Verkürzung der Drähte angebracht werden. An den drei umstehend aufgenommenen Figuren erkennt man sehr deutlich, wie sie mit dem Kreise, auf welchem das Schiffchen liegt, fest verbunden und wie sie eingerichtet sind, um eben so wie die Hebeschraube des einfachen Magnetometers die Verlängerung oder Verkürzung der Drähte ohne seitliche Verrückung zu bewirken.

Um die Directionskraft nach Belieben zu verkleinern oder zu vergrößern, müssen sich unten am Schiffchen die beiden Drähte einander näher oder ferner stellen lassen. Oben können die beiden herabhängenden Enden über eine einzige Rolle von einem angemessenen Durchmesser geleitet werden, und man kann die Axe dieser Rolle auf Frictionsrädern laufen lassen, um die Reibung zu vermindern, wodurch man bewirkt, daß die beiden Drähte immer ganz gleiche Spannung haben, was für die absoluten Bestimmungen von großer Wichtigkeit ist.

Wir wenden uns nun zu der näheren Beschreibung des Schiffchens als des wesentlichsten Theiles. Die Hauptsache ist hierbei die Kenntniß der verschiedenen concentrischen Drehungen, die am Schiffchen vorgenommen werden können, die Kenntniß der Hemmung und Messung dieser Drehungen und die Kenntniß des Zweckes, den sie haben. Diese Drehungen sind folgende:

---

und AF alles gilt, was oben von A, AB, C, ACB, AD und CD ausgesagt ist, so ergiebt sich AF als Richtung und $\frac{AF}{CF} \cdot \frac{Mm}{AC^3}$ als Größe der Kraft, mit welcher der Deklinationsstab auf den Intensitätsstab wirkt. Zerlegt man diese auf den Intensitätsstab wirkende Kraft in eine Kraft nach seiner magnetischen Axe, (durch Multiplication der ganzen Kraft mit $\frac{AD}{AF}$) und in eine Kraft senkrecht darauf (durch Multiplication der ganzen Kraft mit $\frac{DF}{AF}$); so erhält man für jene den Werth:

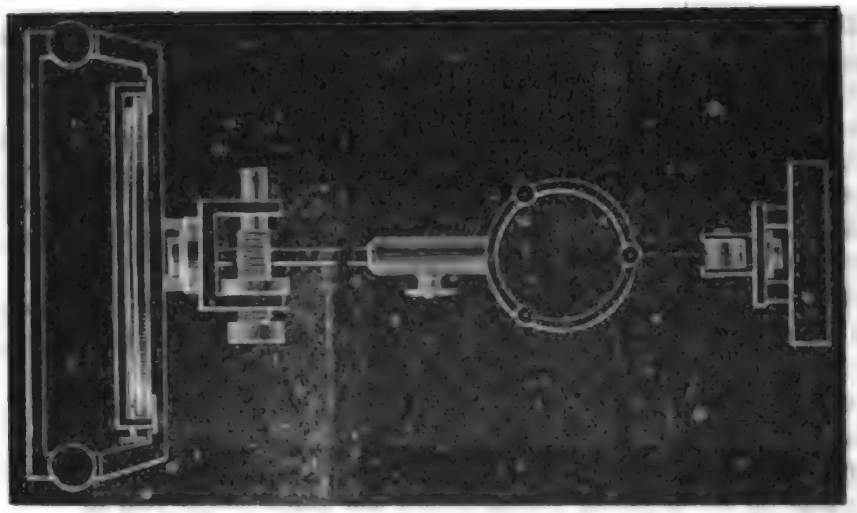
$$\frac{AD}{AF} \cdot \frac{AF}{CF} \cdot \frac{Mm}{AC^3} = \frac{AD}{CF} \cdot \frac{Mm}{AC^3} = \frac{Mm}{AC^3}\sqrt{2},$$

für diese

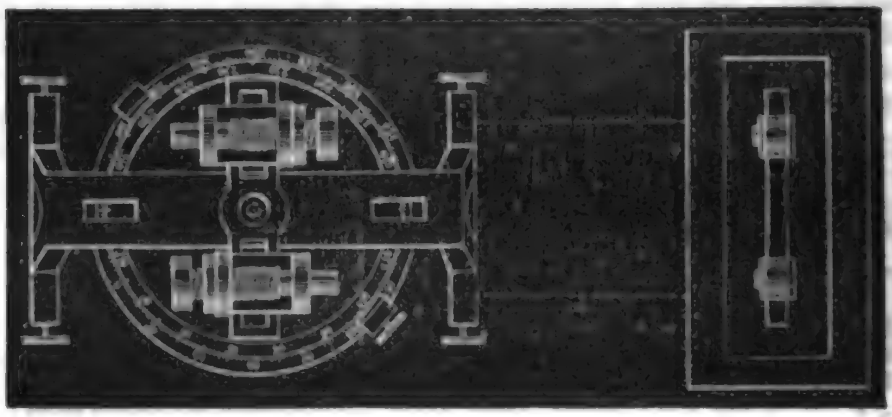
$$\frac{DF}{AF} \cdot \frac{AF}{CF} \cdot \frac{Mm}{AC^3} = \frac{DF}{CF} \cdot \frac{Mm}{AC^3} = \frac{Mm}{AC^3},$$

weil $2CF = CD = AD\sqrt{2}$, oder $\frac{AD}{CF} = \sqrt{2}$ und $CF = DF$ ist.

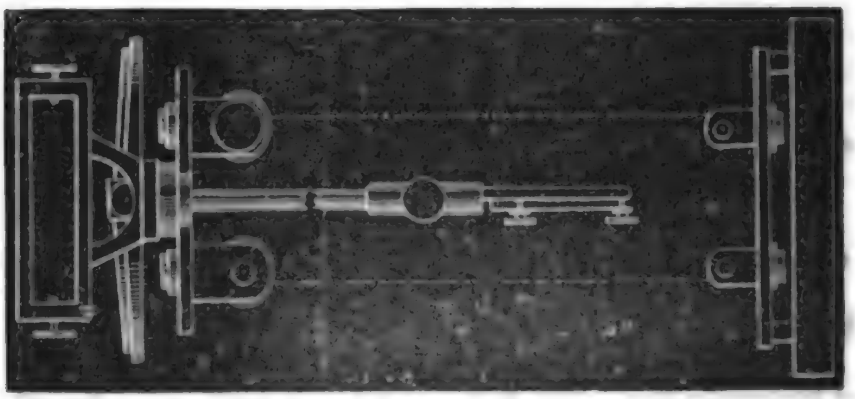
Jene Kraft $\frac{Mm}{AC^3}\sqrt{2}$ verändert direct die Directionskraft des Intensitätsstabes in seiner transversalen Lage. Diese Kraft $\frac{Mm}{AC^3}$ würde die Stellung desselben abändern, wenn nicht durch eine angemessene Abänderung der Suspension die Wirkung aufgehoben und der Stab unverrückt in seiner transversalen Lage erhalten würde. Im letzteren Falle kommt dann zwar die Kraft $\frac{Mm}{AC^3}$ nicht mehr in Betracht; aber wohl hat die veränderte Suspension Einfluß auf die Directionskraft und folglich auf den Werth der Scalentheile, der aber keiner besonderen Rechnung bedarf, weil seine Berechnung mit der Berechnung der Directionskraft überhaupt aus der gegebenen Suspension zusammenfällt.



I.



II.



III.

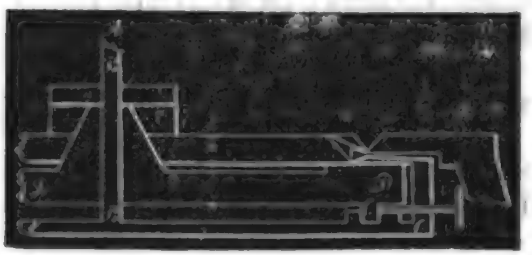
1) Die Drehung des Spiegels für ſich auf ſeinem Zapfen, während das ganze übrige Inſtrument ſeine Lage behält;
2) die Drehung des Spiegels ſammt ſeinem Zapfen und der Alhidade des letzteren in der Büchſe des Kreiſes, an welchem die Suspenſionsſchrauben der Drähte feſt ſind, und auf welchem das Schiffchen mit ſeiner Alhidade oben aufliegt;

3) die Drehung des Schiffchens mit ſeiner Alhidade auf dem Kreiſe, auf dem es aufliegt. — Zur vollſtändigen Ueberſicht aller Drehungen kann endlich hier auch noch

4) die Drehung der beiden oberen Drahtenden um ſich ſelbſt, d. i. um die nämliche Axe, um welche die anderen Drehungen geſchehen, angeführt werden.

Die erſte Drehung wird aus den Figuren I. und III. hinreichend klar. Die Einrichtung iſt darum ſo einfach, weil dieſe Drehung nicht gemeſſen zu werden braucht. Sie ſoll blos dazu dienen, vollkommene Freiheit in der Aufſtellung des Theodolithen zu gewähren, indem man durch dieſe Drehung die Spiegelaxe immer nach dem Fernrohr und der Scala drehen kann, wo dieſe auch aufgeſtellt ſein mögen, ohne ſonſt irgend etwas an dem Apparate zu ändern. Das Bild der Scale, welche in dem gedrehten Spiegel erſcheint, dient ſelbſt zur Regulirung der Drehung und es bedarf dazu keiner weiteren Meſſungsvorrichtung. Nur zum Feſtſtellen des Spiegels in jeder Lage oder zur Hemmung ſeiner Drehung iſt eine Schraube nöthig, wie die Abbildungen Fig. I. und III. ſie zeigen.

Um die zweite Drehung deutlich zu machen, nämlich wie die drei Stücke — Spiegel, Zapfen und Alhidade — wie ein Stück feſtverbunden ſich zuſammen in der Büchſe des Kreiſes drehen, ſind ſie ſammt der letzteren in beiſtehender Figur im Querſchnitt dargeſtellt. Der Spiegel liegt über dem oberen Ende des Zapfens B bei A, C Alhidade des Zapfens, D Kreis. Dieſe Drehung unterſcheidet ſich von der erſten weſentlich blos dadurch, daß der Drehungswinkel gemeſſen werden kann. Indem die unter dem Kreiſe liegende drehbare Alhidade des Zapfens an ihren beiden Enden den Kreisrand umfaßt, bildet ſie zwei auf der oberen Seite des Kreiſes, wo die Theilung iſt, aufliegende Nonien, deren innerer Rand an den äußeren Rand der Kreistheilung grenzt. Uebrigens iſt zur Hemmung dieſer Drehung auch noch eine Klemme angebracht, durch welche die Alhidade des Zapfens feſt an den Kreis gedrückt werden kann. E in obiger Figur giebt dieſe Klemme im Durchſchnitt.



Dieſe beiden Drehungen ſind nöthig um die Nonien an der Alhidade des Zapfens frei zu machen, ohne den Spiegel von der Scala abzuwenden, wenn dieſelben, wie es in gewiſſen Fällen geſchieht, unter die Alhidade des Schiffchens zu liegen kommen und davon verdeckt werden.

Dritte Drehung. Auf den Kreis, an welchem die Suspenſionsſchrauben der Drähte feſt ſind, wirkt unmittelbar die Directionskraft der Drähte; auf das Schiffchen, in welchem der Magnetſtab liegt, wirkt unmittelbar die magnetiſche Directionskraft. Wenn daher dieſe beiden Directionskräfte einen Winkel mit einander bilden, ſo werden ſie die beiden Theile, auf welche ſie unmittelbar wirken, gegenſeitig zu drehen ſuchen. Damit dies nicht geſchehe und keine Verſtellung derſelben von ſelbſt eintreten könne, müſſen die beiden Theile, auf welche jene Kräfte unmittelbar wirken, nur mit ſo ſtarker Friction an einander verſchiebbar ſein, daß jene Directionskräfte, auch wenn ſie einen großen Winkel mit einander machen,

jene Friction nicht überwinden können. Dieſe Drehung, von welcher der Winkel abhängt, welchen die beiden Directionskräfte mit einander bilden, muß ſehr genau gemeſſen werden können. Die Einfachheit der Conſtruction beruht nun vorzüglich darauf, daß derſelbe Kreis und dieſelbe Kreistheilung, welche zur Meſſung der zweiten Drehung diente, zugleich auch zur Meſſung der dritten Drehung benutzt wird. Zu dieſem Zwecke iſt auch die Alhidade des Schiffchens mit zwei Nonien verſehen. Das Inſtrument beſteht hiernach aus einem Kreiſe mit zwei Alhidaden, die unabhängig von einander gebraucht werden ſollen. Die eine Alhidade liegt unter, die andere über dem Kreiſe, um Conflicte zu vermeiden; die untere umſchlingt den Rand des Kreiſes und bildet auf der oberen Seite Nonien, welche an den äußeren Rand der Kreistheilung ſtoßen, ſo daß dieſe für beide Alhidaden brauchbar iſt. Die Nonien der oberen Alhidade ſtoßen von innen her an die Kreistheilung. Die Zahlen ſtehen abwechſelnd innerhalb und außerhalb der Kreistheilung, weil die Bezifferung von den Nonien der einen oder der anderen Alhidade verdeckt wird.

Zu der vierten Drehung bedarf es gar keiner künſtlichen Vorrichtung, ſondern man dreht und ſtellt den Träger an der Decke, über welchen die Drähte geführt ſind, aus freier Hand. Gleich bei der Aufſtellung des Inſtrumentes dreht und ſtellt man den Träger ſo, daß er die bequemſte Lage für alle Zwecke zugleich hat. Als bequemſte Lage läßt ſich diejenige betrachten, bei welcher die unteren Drahtenden mit dem zwiſchen ihnen ſtehenden Spiegel, der immer auf die Scala gerichtet bleiben muß, am wenigſten in Conflict kommen.

Zur Aufſtellung des Apparates und zur Regulirung deſſelben ſind nun folgende Verſuche anzuſtellen.

1) Die Uhr, der Theodolith und die Scala werden feſt aufgeſtellt und ein Senkel von der Mitte des Objectivs über die Scala herabgelaſſen. Der Theodolith wird nivellirt.

2) Das Fernrohr wird auf die gegenüberſtehende Wand eingeſtellt und auf dieſer eine Mire zur Bezeichnung des Endpunkts der optiſchen Axe angebracht. Die Scala wird ſenkrecht auf die Verticalebene der optiſchen Axe geſtellt.

3) In der Verticalebene der optiſchen Axe wird eine Stelle geſucht, wo der Spiegel zu ſchweben kommen ſoll, deren Abſtand vom Mittelpunkte des Objectivs und von demjenigen Scalentheile, über welchem das Senkel hängt, zuſammen ſo groß iſt, wie der Abſtand der Mire vom Mittelpunkte des Objectivs. Die Horizontalebene dieſes Punktes ſoll das Senkel von der Mitte des Objectivs zur Scala halbiren. Endlich wird von der Decke ein Senkel herabgelaſſen, welches durch dieſen Punkt geht.

4) Es wird der Träger entweder an der Decke ſelbſt oder ſenkrecht über ein glatt ausgefüttertes, durch die Decke gebohrtes 80 bis 100 Millimeter weites Loch befeſtigt, ſo daß die mit kleinen Gewichten geſpannten Enden eines darüber geleiteten Fadens frei durch die Deckenöffnung hindurchgehen und beide in der Verticalebene der optiſchen Axe des Fernrohrs liegen.

5) Man wählt einen Stahldraht aus, der ſo ſtark iſt, daß er ohne Gefahr zu reißen das halbe Gewicht des Inſtrumentes tragen kann. Man befeſtigt ſein eines Ende an einem Ende des Fadens und zieht es zum Träger hinauf, indem man das andere Ende des Fadens herabzieht, — wobei dafür zu ſorgen iſt, daß Draht und Faden immer geradlinig geſpannt bleiben, — läßt es über die beiden

Cylinder des Trägers hinweggehen und führt es wieder herunter, worauf man den Faden anknüpfen und die beiden Drahtenden mit Gewichten belaſten und ſich frei drehen laſſen kann, bis ſie ihre natürliche Lage angenommen haben.

6) Die beiden Drahtenden werden etwa 100 oder 150 Millimeter unter der Stelle, wo das Magnetometer ſchweben ſoll, abgeſchnitten und an die Suspenſionsſchrauben befeſtigt. Das ſo getragene frei ſchwebende Schiffchen wird darauf mit Hülfe der Schrauben bis zur vorgeſchriebenen Stelle in die Höhe gewunden.

7) Es wird ein Kaſten ſo groß, daß der Magnetſtab, der in das Schiffchen gelegt werden ſoll, darin Platz findet, aufgeſtellt wie bei dem einfachen Magnetometer. Durch eine Oeffnung der Decke gehen die beiden Drähte und der Zapfen, deſſen oberes Ende den Spiegel trägt.

8) Ehe der Magnetſtab in das Schiffchen gelegt wird, legt man ein gleich großes unmagnetiſches Gewicht hinein und läßt die Drähte ihre natürliche Lage einnehmen, wobei ſie beide ihrer ganzen Länge nach in einer verticalen Ebene liegen. Die Alhidade des Schiffchens wird darauf ſo genau wie möglich in denjenigen mittleren magnetiſchen Meridian gebracht, welchen man den Variationsmeſſungen zu Grunde legen will. Die andere Alhidade, am Spiegelzapfen, kann ſo geſtellt werden, daß ſie mit jener einen rechten Winkel bildet, damit die beiderſeitigen Verniers recht weit von einander abſtehen. Das Gewicht am Schiffchen ſchiebt man ſo lange, bis der Spiegel gerade mitten zwiſchen beiden Drähten ſteht, wo dann die Spiegelaxe ſehr nahe horizontal ſein muß. Nun bediene man ſich der erſten Drehung, um ohne Verrückung der Alhidade den Spiegel nach der Scala zu wenden. Sollte dann die Scala nicht gleich im Fernrohre erſcheinen, ſo wird man ſie mit bloßem Auge nahe darüber oder darunter ſehen und kann ſie mit Hülfe eines leichten Laufgewichts, das man auf das Schiffchen legt und dort verſchiebt, in das Geſichtsfeld führen. Hierauf wird die erſte Beobachtung gemacht und der Stand der Scala beſtimmt.

9) Auch kann zur Beſtimmung der Directionskraft der Drähte die Schwingungsdauer beobachtet werden, ehe der Magnetſtab eingelegt wird, und nochmals nach einer bekannten Vermehrung des Trägheitsmoments. Jedoch wird dieſer Verſuch beſſer etwas ſpäter, wenn der Abſtand der Drähte von einander genau regulirt worden iſt, gemacht, falls man dieſen Abſtand nicht ſchon im Voraus genau genug durch Rechnung beſtimmen und reguliren konnte.

10) Darauf wird der Magnetſtab verkehrt — Nord nach Süd gewandt — eingelegt, und darauf der Stand der Scala wieder beobachtet, welcher mit der Beobachtung unter (8) übereinſtimmen ſoll. Stimmen die beiden Beobachtungen nicht überein, ſo muß die Uebereinſtimmung durch bloße Drehung des Schiffchens mit ſeiner Alhidade erreicht werden. Die Uebereinſtimmung der beiden Beobachtungen beweiſt, daß die magnetiſche Axe des Stabes im magnetiſchen Meridian liegt. Dabei iſt jedoch zu bemerken, daß, je weniger die Directionskraft vermöge der Aufhängung die magnetiſche Directionskraft übertrifft, deſto feiner dieſes Prüfungsmittel ſei, wodurch es unmöglich werden könne, eine *vollkommene* Uebereinſtimmung beider Beobachtungen zu erreichen. Der Unterſchied weniger Scalentheile kann dann als verſchwindend betrachtet werden. Der Einfluß der ſtündlichen Variationen muß hierbei natürlich auch berückſichtigt werden.

11) Es wird die Schwingungsdauer t in dieſer verkehrten Lage beobachtet,

12) Der Magnetſtab wird in die Lage Nord gegen Nord gebracht, indem das Schiffchen mit ſeiner Alhidade genau um 180 Grad gedreht wird. Darauf wird wieder die Schwingungsdauer τ beobachtet. Es verhält ſich alsdann die magnetiſche Directionskraft M zur Directionskraft vermöge der Aufhängung S

$$M : S = t^2 - \tau^2 : t^2 + \tau^2.$$

Wenn dieſes Verhältniß von der Einheit ſehr abweicht, ſo müſſen die Drähte einander genähert oder entfernt werden, bis die dadurch veränderte Directionskraft der Drähte die magnetiſche Directionskraft nur wenig übertrifft, z. B. um den 10. Theil der letzteren.

13) Sucht man darauf den Winkel z, deſſen Sinus

$$\sin z = \frac{t^2 - \tau^2}{t^2 + \tau^2}$$

iſt, und dreht die Alhidade des Schiffchens — z. B. im Sinne der täglichen Drehung der Sonne — um $90^0 - z$, dreht dagegen die Alhidade des Spiegelzapfens im entgegengeſetzten Sinne um den Winkel z; ſo wird das Gleichgewicht geſtört ſein. Die Drähte können nicht mehr in ihrer natürlichen Lage bleiben, ſondern müſſen den Kreis, an dem ſie befeſtigt ſind, und damit das ganze Inſtrument, im Sinne der täglichen Drehung der Sonne genau um den Winkel z drehen. In dieſer neuen Lage kann das Gleichgewicht ſich wieder herſtellen, weil der Stab in dieſer Lage gegen die frühere einen Winkel $(90^0 - z) + z = 90^0$ macht, während die Drähte an ihren unteren Enden blos um den Winkel z gedreht worden ſind. Daraus geht hervor, daß, wenn vorher die Drähte ihre natürliche Lage hatten und die magnetiſche Axe des Stabes im magnetiſchen Meridiane lag, die aus den beiden Kräften M und S reſultirenden entgegengeſetzten Drehungsmomente ſich verhalten, wie

$$M \sin 90^0 : S \sin z.$$

Da nun aber

$$M : S = t^2 - \tau^2 : t^2 + \tau^2$$

$$\sin z = \frac{t^2 - \tau^2}{t^2 + \tau^2}$$

$$\sin 90^0 = 1;$$

ſo folgt daraus die Gleichheit dieſer entgegengeſetzten Drehungsmomente oder das Gleichgewicht des Inſtrumentes in dieſer Lage. Ob die wirkliche Lage des Gleichgewichts mit der ſo berechneten übereinſtimme oder nicht, ergiebt ſogleich die Beobachtung des Scalenſtandes, der noch derſelbe ſein muß, wie zuvor.

14) Ergiebt ſich dennoch aus der Beobachtung eine Aenderung des Scalenſtandes, ſo folgt daraus, daß die bei dem früheren Verſuche gemachte Vorausſetzung nicht genau erfüllt geweſen iſt, daß die magnetiſche Axe des Stabes in dem magnetiſchen Meridian lag. Den damals begangenen Fehler kann man berechnen und mit Berückſichtigung deſſelben die Verſuche wiederholen. Dieſe Rechnung wird noch genauer und ſicherer, wenn man zuvor einen correſpondirenden Verſuch macht, indem man ganz, wie unter (13) angegeben iſt, verfährt, aber alle Drehungen nach der entgegengeſetzten Seite macht.

15) Nachdem man die gewünſchte Uebereinſtimmung erhalten hat, bleibt das Magnetometer in ſeiner letzten transverſalen Lage. Seine Schwingungsdauer iſt alsdann nach einem einfachen Theoreme das geometriſche Mittel zwiſchen den

Schwingungsdauern t und τ, wonach ſich die Beobachtungen der Intenſitäts-Variationen, ähnlich wie die Beobachtungen der Deklinations-Variationen anordnen laſſen. Man erhält die Intenſitäts-Variationen in Scalentheilen. Wünſcht man ſie in Bruchtheile der ganzen Intenſität zu verwandeln, ſo ergeben ſich dieſe, wenn man den Bogenwerth der Scalentheile in Theilen des Halbmeſſers ausgedrückt mit

$$\text{col} \cdot z = \frac{2\,t\,\tau}{t^2 - \tau^2}$$

multiplicirt; denn der Bogenwerth der Scalentheile in Theilen des Halbmeſſers ausgedrückt giebt unmittelbar die Intenſitäts-Variationen in Theilen der Directionskraft, welche unter den beſchriebenen Verhältniſſen $S \cos z$ iſt. Dividirt man dieſe Directionskraft $S \cdot \cos z$ mit der ganzen Intenſität, d. i. unter den beſchriebenen Verhältniſſen mit $S \cdot \sin z$, ſo erhält man durch Multiplication jenes Bogenwerthes mit dieſem Quotienten $\text{col} \cdot z$ die Intenſitäts-Variationen in Bruchtheilen der ganzen Intenſität.

Die hier nach Gauß gegebenen Vorſchriften ſind wohl bei allen magnetiſchen Obſervatorien maßgebend geweſen; indeſſen ſind doch auch noch mancherlei andere Einrichtungen nöthig geworden, um nachweisbar richtige Beſtimmungen zu erhalten. Wir verweiſen deshalb namentlich auf Lamont *), da die Münchner Beobachtungen ſich als beſonders ſicher erwieſen haben. Ueberdies ſind noch mancherlei Vorſichtsmaßregeln zu beachten; auch verdient bemerkt zu werden, daß — was von Gauß nicht beachtet worden iſt — durch den Erdmagnetismus in den Stäben Magnetismus inducirt wird, wodurch je nach den Dimenſionen und der Härte der Stäbe beträchtlich verſchiedene Ergebniſſe herbeigeführt werden.

Wegen Webers Inductions-Inklinatorium verweiſen wir auf Art. Neigung der Magnetnadel. H. E.

Magnium, Talcium oder Magneſium, iſt das Metall der Magneſia, einer alkaliſchen Erde. Chemiſches Zeichen: Mg. Aequivalent: 150 **) (O=100) oder 12,0 (H = 1). Spec. Gewicht = 1,743. Das Metall kommt in der Natur nicht vor, wohl aber vielfache Verbindungen deſſelben. Es wurde zuerſt von H. Davy dargeſtellt; die genauere Kenntniß deſſelben verdanken wir jedoch den ſpäteren Unterſuchungen von Buſſy ***) und Liebig ****). Während ſich Davy bei der Darſtellung des galvaniſchen Stromes bediente, ſchlug Buſſy den Weg ein, den Wöhler für die Bereitung des Aluminium gegeben hatte. Man erhitzt nämlich waſſerfreies Chlormagneſium und Kalium; das ſich hierbei bildende Chlorkalium löſt ſich in Waſſer auf und das Metall bleibt in Form kleiner Kügelchen zurück. Es beſitzt einen metalliſchen Glanz, der ſich dem des Silbers nähert; es läßt ſich hämmern und ſchmilzt unter einer Decke von Chlorkalium bei einer Temperatur, die mit der des ſchmelzenden Silbers zuſammen zu fallen ſcheint. In trockener Luft oxydirt es ſich nicht, in feuchter Luft jedoch langſam. Erhitzt man es aber im Sauerſtoffſtrom, ſo verbrennt es mit lebhafter Flamme zu Oxyd;

*) Pogg. Ann. Bd. LXI. S. 95 ff.
**) Journ. f. prakt. Chem. Bd. II. S. 385.
***) Journ. de chim. méd. 1830. Mars p. 141.
****) Ann. d. Phyſ. Bd. XIX. S. 137.

eine ähnliche Erſcheinung findet in einem Strome von Chlorgas und in Schwefeldämpfen ſtatt. Von verdünnten Säuren wird das Magneſium unter Waſſerſtoffentwickelung aufgelöſt; mit concentrirter Schwefelſäure zuſammengebracht entwickelt ſich ſchweflige Säure. Kaltes Waſſer wird dadurch nicht zerſetzt; bei 30° iſt die Zerſetzung nur langſam, bei 100° aber ſehr lebhaft.

Von den Verbindungen mit Sauerſtoff kennt man nur eine: die Magneſia (Magneſiumoxyd, Talkerde oder Bittererde), MgO, die ſich nur in Verbindungen mit Säuren und zwar in reichlicher Menge oder als Hydrat in der Natur vorfindet. Black ſtellte zuerſt die Verſchiedenheit der Magneſia von der Kalkerde feſt (1755). Obgleich ſchon vor ihm Fr. Hoffmann darauf aufmerkſam gemacht hatte, ließ dieſer ſich dennoch oft durch die Aehnlichkeit der Bittererde mit der Talkerde täuſchen. Marggraf und beſonders Bergmann verdanken wir weitere Kenntniſſe darüber. Man erhält ſie durch Glühen aus der gewöhnlichen kohlenſauren Magneſia der Apotheken. Daß alle Kohlenſäure entwichen iſt, erkennt man durch Uebergießen mit Säuren; es darf dann kein Aufbrauſen ſtattfinden. Die auf dieſe Art bereitete Magneſia iſt unter dem Namen gebrannte Magneſia (Magnesia usta) offizinell. Es iſt ein weißes, lockeres, geruch- und geſchmackloſes Pulver; die Löslichkeit deſſelben in Waſſer iſt noch geringer als die der Kalkerde, ſie reicht aber aus, um ſchwach geröthetes Lakmuspapier zu bläuen. Die Talkerde iſt eine ſtarke Baſe, die ſich in Säuren ſehr leicht löſt. Sie ſchmilzt nur vor dem Knallgasgebläſe oder in dem Kreiſe einer ſehr kräftigen galvaniſchen Batterie; geſchmolzen erhitzt ſie Glas. Wird ſie mit Waſſer übergoſſen, ſo bildet ſich das Hydrat; eine merkliche Erhitzung tritt hierbei nicht ein; in feuchter Luft zieht ſie Kohlenſäure und Waſſer an, ohne die Gegenwart des letzteren bleibt ſie jedoch in reiner Kohlenſäure unverändert. Spec. Gew. = 3,2. Die große Leichtigkeit der Magneſia iſt bei mancherlei Verrichtungen ſehr hinderlich; deshalb bereitet man ſie oft durch Glühen der ſalpeterſauren Magneſia, weil dieſes Verfahren ein dichteres, mithin auch ſchwereres Präparat liefert. — Magneſiahydrat kommt als Brucit (MgO, HO) in der Natur vor. Künſtlich bereitet man es durch Fällung mittelſt Kali aus einer Löſung der ſchwefelſauren Magneſia. Das Waſſer geht ſchon unter der Glühhitze fort. Das Magneſiahydrat kann mit ſchwefelſaurem Eiſenoxyd oder Eiſenchlorid bei Vergiftungen mit arſeniger Säure als kräftig wirkendes Gegenmittel verwendet werden.

Unter den Salzen der Magneſia führen wir auf: die kohlenſaure Magneſia MgO, CO^2. Sie kommt in der Natur als Magneſit oder Magneſitſpath theils amorph, theils kryſtalliſirt in Rhomboëdern beſonders in Tyrol vor. Beide Arten zeigen ein verſchiedenes Verhalten gegen Säuren. Die amorphen Maſſen werden von ſtarken Säuren ziemlich leicht aufgelöſt, während der kryſtalliniſche Magneſit nur im fein gepulverten Zuſtande und bei Anwendung der Wärme angegriffen wird. An manchen Fundorten kommt der Magneſit faſt chemiſch rein vor; ſo z. B. enthält der von Frankenſtein in Schleſien nur 0,009 Proc. Beimengungen (Kieſelſäure, Thonerde, Eiſenoxyd und Phosphorſäure). Der reine Magneſit wird namentlich bei der Fabrikation der künſtlichen Mineralwäſſer zur Entwickelung der Kohlenſäure gebraucht, weil dieſe frei von einem übeln Geruch und Geſchmack iſt; als Nebenproduct fallen hierbei verſchiedene Magneſiaſalze ab. — Mit dem kohlenſauren Kalk bildet die kohlenſaure Magneſia ein Doppelſalz, das unter dem Namen Braunſpath, Bitterſpath, Dolomit (CaO, CO^2 + MgO, CO^2)

als ein mächtiges Geſtein auftritt. Auch mit Eiſen- und Manganoxydul kommt die kohlenſaure Magneſia in der Natur vor. — Durch gewöhnliche Fällung eines löslichen Magneſiaſalzes mittelſt der Löſung eines kohlenſauren Salzes kann man die neutrale kohlenſaure Magneſia nicht darſtellen. Es gelingt dies nur auf Umwegen. Im erſteren Falle erhält man ſtets eine Verbindung der kohlenſauren Magneſia mit Magneſiahydrat und Waſſer. Die Zuſammenſetzung dieſes Niederſchlages fällt ſehr verſchieden aus; ſie hängt ab von der Menge des kohlenſauren Alkalis, ſo wie von der Concentration und der Temperatur der Löſungen. Man kann beſtimmte Verbindungen oder Gemenge verſchiedener erhalten. Ein Niederſchlag dieſer Art iſt ſchon ſeit alter Zeit unter dem Namen Magnesia alba, hydrica carbonica, scarbonica als pharmaceutiſches Präparat bekannt. Um ſie ſehr leicht zu erhalten, wendet man ſehr verdünnte Löſungen der ſchwefelſauren Magneſia und eines kohlenſauren Alkalis an, die beide kochend mit einander gemiſcht werden. Man läßt die Flüſſigkeit eine Zeitlang über dem Niederſchlage ſieden, entfernt jene durch Abgießen und wäſcht den Niederſchlag wiederholt mit heißem Waſſer aus. Um den Niederſchlag zu ſcheiden, bringt man ihn auf Leinwandfilter; nach dem Abtropfen entzieht man das Waſſer möglichſt durch Ausbreiten auf einer poröſen Unterlage und formt ihn endlich zu Steinen, die man in gelinder Wärme austrocknet. Dieſes Präparat bildet eine zuſammenhängende, ſehr zerreibliche, ſchneeweiße, leichte Maſſe. Gewöhnlich beſitzt ſie die Zuſammenſetzung $MgO, HO + 3 (Mg, CO^2 + HO)$. Doch hängt dies, wie geſagt, von der Art der Bereitung ab. Mit den kohlenſauren Alkalien geht die kohlenſaure Magneſia Doppelſalze ein; ſie löſt ſich auch in kohlenſäurehaltigem Waſſer. Die Löſung der zweifach kohlenſauren Magneſia, welche in der Natur meiſtens die zweifach kohlenſaure Kalkerde begleitet, wird ähnlich wie dieſe an der Luft und in der Wärme zerſetzt.

Die ſchwefelſaure Magneſia (Bitterſalz, engliſches Salz, Epſom- oder Sedlitzer-Salz) wurde zuerſt in der Mineralquelle zu Epſom in England entdeckt. Sie findet ſich außerdem in verſchiedenen anderen Quellen, die unter dem Namen Bitterwäſſer eine große Berühmtheit erlangt haben, beſonders die böhmiſchen Quellen von Püllna und Seidſchütz; ferner im Meerwaſſer und Salzquellen. Auch als Salz kommt dieſe Verbindung in der Natur vor; es ſind dies die unter dem Namen Haarſalz (Gletſcherſalz) bekannten Auswitterungen. Sie entſtehen durch die Einwirkung gypshaltiger Waſſer auf Magneſia-Carbonate oder Silikate oder durch die Einwirkung von Pyrit auf Magneſiaglimmer. Durch die capillare Thätigkeit der Geſteinſchichten wird die Auflöſung der ſchwefelſauren Magneſia an die Oberfläche der Erde geführt; hier verdampft durch die Sonnenwärme das Waſſer und das Salz bedeckt in großer Menge weite Strecken, die mit einer Schneedecke überlagert zu ſein ſcheinen. — Im Großen ſtellt man das Bitterſalz dar aus dem Dolomit, dem Magneſit durch Einwirkung von Schwefelſäure; oder aus den Mutterlaugen, die bei der Darſtellung des Kochſalzes aus dem Meerwaſſer oder der Soole abfallen. Dieſe enthalten Chlormagneſium, welches durch Schwefelſäure zerſetzt wird. Am einfachſten dampft man die in der Natur vorkommenden Bitterwäſſer ab. — Bei gewöhnlicher Temperatur kriſtalliſirt das Salz in farbloſen vierſeitigen Säulen mit 7 Atomen Waſſer; ſchießen die Kryſtalle dagegen bei einer erhöhten Temperatur an, ſo enthalten ſie nur 6 Atome Waſſer und bei mehreren Graden unter 0° erhält man große Kryſtalle mit 12 At.

Waſſer. Der Geſchmack iſt bitter und ſalzig. Das waſſerfreie Salz ſchmilzt in der Rothglühhitze, wobei es theilweiſe zerſetzt wird. Es iſt leicht löslich in Waſſer; bei 0° werden von 100 Th. Waſſer beinahe 26 Th. Bitterſalz aufgenommen und bei 97° 72 Th. — Mit den ſchwefelſauren Alkalien bildet die ſchwefelſaure Magneſia leicht lösliche Doppelſalze. — Salpeterſaure Magneſia kommt in der Salpetermutterlauge vor. Das Salz zerfließt ſehr leicht und wird in der Rothglühhitze vollſtändig zerſetzt. — Unterchlorigſaure Magneſia wird zuweilen als Bleichmittel benutzt. — Phosphorſaure Magneſia (PO^5, 2 MgO, HO) kommt in den Samen der Gräſer, den feſten und flüſſigen thieriſchen Subſtanzen und in dem Mineralreich als Sordawalit vor. Zerſetzt man eſſigſaure Magneſia durch Phosphorſäure oder neutrales phosphorſaures Natron durch ſchwefelſaure Magneſia, ſo kryſtalliſirt die phosphorſaure Magneſia in Nadeln, die 14 At. Waſſer enthalten. Durch Kochen mit Waſſer wird die Verbindung in Phosphorſäure und in ein baſiſches Salz zerlegt. Im Harn, Harnſteinen und anderen thieriſchen Concrementen kommt eine Verbindung der phosphorſauren Magneſia mit Ammoniak (PO^5, 2 MgO, NH^4 O) vor. Sie wird auch erhalten, wenn Phosphorſäure und Ammoniak mit einem löslichen Magneſiaſalze zuſammenkommen. Dieſes Verhalten dient, um die Magneſia bei Unterſuchungen zu erkennen und quantitativ zu beſtimmen. In reinem Waſſer iſt die Verbindung etwas auflöslich, in ammoniakhaltigem Waſſer jedoch ganz unlöslich. In Hamburg fand man kürzlich bei einer Ausgrabung große Kryſtalle von phosphorſaurer Ammoniak-Talkerde, die man anfänglich für ein Mineral, dem man den Namen Struvit beilegte, anſah. Bald aber erkannte man, daß die Kloaken die Urſache zur Entſtehung dieſer Kryſtalle abgegeben hatten. — Borſaure Magneſia findet ſich in der Natur als Boracit (3 MgO + 4 BO^3) im Gyps bei Lüneburg und Segeberg und in Steinſalz bei Staſſart. Bringt man ſiedende Löſungen von Borax und ſchwefelſaurer Magneſia zuſammen, ſo ſcheiden ſich nach einiger Zeit harte Kryſtallnadeln von borſaurer Magneſia (MgO, BO^3 + 8 HO) ab. — Kieſelſaure Magneſia findet ſich im Mineralreich in ziemlicher Menge. Hauptſächlich ſind zu erwähnen: der Speckſtein (MgO, SiO^3), der Talk (6 MgO, 5 SiO^3), der Meerſchaum (MgO, SiO^3 + 6 HO), der Serpentin (MgO, SiO^3 + HO) und der Asbeſt (CaO, SiO^3 + (3 MgO, 2 SiO^3)). Außerdem kommen die Talkerdeſilicate auch noch mit anderen Silicaten verbunden im Mineralreich vor.

Unter den Verbindungen, welche das Magneſium mit anderen Elementen eingeht, heben wir nur die mit Chlor (Magneſiumchlorür Mg Cl) hervor. Sie findet ſich im Meerwaſſer, in vielen Mineral- und Soolquellen. Die waſſerfreie Verbindung bereitet man am beſten, wenn man kohlenſaure oder reine Magneſia in Salzſäure auflöſt und ſoviel Salmiak hinzuſetzt, daß Ammoniak keinen Niederſchlag bewirkt. Hat man zur Trockne eingedampft, ſo erhitzt man die Maſſe in einem Platintiegel, um den Salmiak zu verjagen. Es iſt eine weiße, kryſtalliniſche Maſſe, die in der Rothglühhitze ſchmilzt und an der Luft ſehr zerfließt. Aus einer Löſung der Magneſia in Salzſäure ſchießt Magneſiumchlorür in Kryſtallen an, die 6 At. Waſſer enthalten. Dampft man die Löſung zur Trockne ein, ſo findet eine Zerſetzung ſtatt, indem Salzſäure entweicht.

Die Gegenwart der Magneſia läßt ſich vor dem Löthrohr auch leicht dadurch nachweiſen, daß ſie, mit ſalpeterſaurer Kobaltlöſung befeuchtet und ſtark geglüht,

eine roſenrothe Färbung annimmt. Die quantitative Beſtimmung der Magneſia hat nur dann Schwierigkeiten, wenn ſie zugleich mit den Alkalien vorkommt. Man fällt die Magneſia durch Phosphorſäure und Ammoniak, muß aber nur die überſchüſſig zugeſetzte Phosphorſäure aus dem Filtrat, welches die Alkalien enthält, entfernen. Dies geſchieht in der Siedehitze durch ein lösliches Bleiſalz, deſſen Ueberſchuß wiederum durch kohlenſaures Ammoniak unlöslich gemacht wird. Bei Gegenwart von Schwefelſäure wird dieſe durch eſſigſauren Baryt entfernt; durch Eindampfen und Glühen erhält man kohlenſaure Salze, von denen die Alkalien im Waſſer löslich ſind, während Baryt und Magneſia zurückbleiben; beide laſſen ſich leicht trennen. Hat man die Alkalien und die Magneſia als Chlorverbindungen, ſo zerſetzt man das Chlormagneſium durch Queckſilberoxyd; beim Glühen entweicht das Chlorqueckſilber und das überſchüſſig zugeſetzte Queckſilberoxyd. Die Chloralkalien werden dann leicht von der reinen Magneſia getrennt, da ſie im Waſſer löslich ſind. Oder man kocht die Chloride mit kohlenſaurem Silberoxyd; die Alkalien gehen in Löſung und die Magneſia bleibt bei dem Rückſtande, aus dem ſie leicht durch Salzſäure ausgezogen wird. Liſt hat *) eine indirecte Methode angegeben, die Magneſia von den Alkalien zu trennen. Man beſtimmt das Geſammtgewicht der ſchwefelſauren Salze, die Schwefelſäure und die Magneſia und berechnet daraus die in dem Gemenge enthaltene Quantität Kali und Natron. W. B.

Mangan, Manganium, Manganèse, ein Metall. Chemiſches Zeichen: Mn. Aequivalent: 344,684 (O = 100) oder 27,619 (H = 1). Es kommt in der Natur ſehr häufig vor, wenn auch nicht in ſehr großen Maſſen und nie im metalliſchen Zuſtande, ſondern ſtets in Verbindungen, zumeiſt mit Sauerſtoff verbunden; dann auch mit Waſſer, Kohlenſäure und Kieſelſäure, ſehr ſelten als Schwefelmangan. Es iſt ein beſtändiger Begleiter des Eiſens; man findet es, freilich nur in ſehr geringer Menge, auch in der organiſchen Natur, ſo wie in der Aſche der Pflanzen, im Blute (Millon) und in den Knochen (Fourcroy und Vauquelin). In verſchiedenen Mineralien tritt das Mangan als färbender Beſtandtheil auf.

Das am häufigſten vorkommende Manganerz, der Braunſtein, war bereits den Alten bekannt und wie Plinius berichtet, kannte man auch ſeine Eigenſchaft, das Glas zu entfärben. Seine äußere Aehnlichkeit mit dem natürlichen Magneten gab Veranlaſſung zu der Benennung Magnesia nigra. Bis vor 100 Jahren rechnete man den Braunſtein zu den Eiſenerzen; erſt Pott zeigte 1740, daß in dem Braunſtein kein Eiſen enthalten ſei. Er ſtellte zwar verſchiedene Manganſalze dar, ihre chemiſche Natur erkannte er jedoch nicht. Für den Hauptbeſtandtheil des Braunſteins hielt er eine alkaliſche Erde, die der Thonerde ſehr ähnlich ſei. Kaim machte zwar 1770 bekannt, daß er aus dem Braunſtein ein bläulich weißes kräftiges Metall dargeſtellt habe, ſeine Angaben aber fanden wenig Glauben. Selbſt Scherle blieb (1774) noch zweifelhaft über die Natur des Braunſteins; der Hauptbeſtandtheil deſſelben ſchien ihm große Aehnlichkeit mit der Kalkerde zu haben, ja er hielt es nicht für unmöglich, daß der erſtere in die letztere verwandelt werden könne. In demſelben Jahre noch erkannte Berg-

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXXI. S. 117.

mann, geſtützt auf Scheele's Verſuche, daß der Braunſtein ein eigenthümliches Metall enthalten müſſe, und Gahn gelang es endlich, gleichfalls 1774, daſſelbe darzuſtellen.

Man erhält das Metall durch Reduction eines ſeiner Oxyde mittelſt Kohle bei hoher Temperatur. Am beſten ſtellt man zuerſt reines Manganoxydul aus dem kohlenſauren Salz dar. Das Oxydul mengt man innig mit Holzkohle und erhitzt es ſtark in einem Gebläſeofen unter einer Kohlendecke in einem mit Kohle ausgefütterten Tiegel. Ein Zuſatz von Oel beſchleunigt die Reduction und Borax erleichtert das Zuſammenſchmelzen der reducirten Metallkörner. Das Mangan, auf dieſe Weiſe bereitet, enthält eine gewiſſe Menge Kohle, verhält ſich alſo zu dem reinen Metall ähnlich, wie das Gußeiſen zum weichen Eiſen. Durch abermaliges Schmelzen mit einer kleinen Menge kohlenſaurem Manganoxydul wird es von dem Kohlegehalt befreit.

Das Mangan ſieht weißem Gußeiſen ſehr ähnlich, doch iſt es weniger hart. Seine Dehnbarkeit iſt ſehr gering; es läßt ſich zwar feilen, aber man kann es zu einem Pulver zerſtoßen. Außer der großen Sprödigkeit verhindert auch die große Verwandtſchaft zum Sauerſtoff die Anwendung des Mangans als Metall. In feuchter Luft läuft es ſehr ſchnell mit gelblicher oder violetter Farbe an und zerfällt ſogar ganz zu einem ſchwarzen Pulver. Man muß es unter Steinöl aufbewahren oder am beſten in zugeſchmolzenen Glasröhren. Das Waſſer wird durch das Mangan ſchon bei gewöhnlicher Temperatur zerſetzt, ſehr ſchnell aber bei 100°. Spec. Gew. = 8,0. Es ſchmilzt ſchwerer als Eiſen.

Das Mangan iſt unter allen Metallen dasjenige, welches ſich in den meiſten Verhältniſſen mit dem Sauerſtoff verbindet. Wir kennen ſechs ſolcher Verbindungen:

das	Manganoxydul	MnO
"	Manganoxydoxydul	Mn^3O^4
"	Manganoxyd	Mn^2O^3
"	Manganſuperoxyd	MnO^2
die	Manganſäure	MnO^3 und
"	Uebermanganſäure	Mn^2O^7.

Manganoxydul (MnO) kommt in der Natur nicht im reinen Zuſtande, ſondern mit Kieſelſäure als Mangankieſel ($3\,MnO,\,2\,SiO^3$) und mit Kohlenſäure verbunden als Manganſpath ($MnO\,CO^2$) vor. Man erhält reines Manganoxydul, wenn man das Hydrat oder die Verbindungen mit Kleeſäure und Kohlenſäure bei Abſchluß der Luft ſchwach glüht. Man nimmt dieſe Operation am beſten in einer Glaskugel vor, aus der man die Luft durch einen Strom von Waſſerſtoffgas ausgetrieben hat. Oder man leitet über erhitztes Manganſuperoxyd oder über eine andere höhere Oxydationsſtufe ſo lange Waſſerſtoffgas als ſich noch Waſſer bildet. Die beſte Darſtellungsmethode iſt von Liebig und Wöhler angegeben. Man ſchmilzt Manganchlorür mit trocknem kohlenſaurem Natron und Salmiak zuſammen. Es bildet ſich hier Chlornatrium und kohlenſaures Manganoxydul, bei weiterem Glühen geht die Kohlenſäure fort, und der Salmiak reducirt das Oxyd, das ſich durch die Einwirkung der Luft bildet, zu Oxydul. Letzteres bleibt zurück, wenn man die geſchmolzene Maſſe mit Waſſer auslaugt.

Das Manganoxydul ist ein graugrünes Pulver. Es oxydirt sich sehr leicht an der Luft, weshalb man es sorgsam vor dem Zutritt derselben schützen muß. Das Manganoxydul ist eine starke Base, die sich mit den meisten Säuren zu theils farblosen, theils blaßrosenrothen Salzen verbindet. Einige schreiben die röthliche Färbung der Manganoxydulsalze einer geringen Beimengung von Uebermangansäure oder Kobalt zu. Nach Gorgeu aber *) gehört diese Färbung den löslichen oder krystallisirbaren Salzen an, während die unlöslichen oder amorphen weiß sind; besitzen die ersteren diese Farbe, so rührt diese von Verunreinigungen her. Diese sind zum Theil in Wasser löslich; die hierin unlöslichen werden von Chlorwasserstoffsäure aufgelöst. Von den Salzen führen wir an: 1) Das kohlensaure Manganoxydul ($MnO\ CO^2$). Es kommt in der Natur in rosenrothen Rhomboëdern, die denen des Kalkspathes sehr ähnlich sind, vor; oft auch in Gemeinschaft mit kohlensaurem Eisenoxydul und kohlensaurem Kalk. Fresenius **) hat es im Sinter des Kochbrunnens zu Wiesbaden aufgefunden. Es ist in der Quelle als doppelt kohlensaures Manganoxydul aufgelöst enthalten, durch Entweichen der Kohlensäure wird es unlöslich. Liegt der Sinter lange Zeit an der Luft, so geht das kohlensaure Manganoxydul in Manganoxydhydrat über. — Künstlich dargestellt bildet das kohlensaure Manganoxydul ein schmutzig weißes, in Wasser unlösliches Pulver. Man erhält es, wenn man eine Auflösung von kohlensaurem Natron in eine Lösung des schwefelsauren Salzes oder von Manganchlorür gießt. Es dient zur Darstellung der übrigen Manganoxydulsalze, indem man es in den entsprechenden Säuren auflöst. 2) Schwefelsaures Manganoxydul (MnO, SO^3). Man stellt das Salz direct dar durch Einwirkung von concentrirter Schwefelsäure auf Braunstein, wobei sich Sauerstoff entwickelt. Man kann hierzu auch den Rückstand verwenden, der bei der Bereitung des Sauerstoffs durch Erhitzen des Braunsteins übrig bleibt, oder das bei der Chlorbereitung abfallende Manganchlorür. Je nach der Temperatur, bei der die Krystalle anschießen, besitzen sie einen verschiedenen Wassergehalt und eine verschiedene Form. Bei 6° schließen sie 7 Aequiv. Wasser ein und besitzen die Form des schwefelsauren Eisenoxyduls mit gleichem Wassergehalt; zwischen 7 bis 20° schießen sie mit 5 Aequiv. Wasser in der Form des schwefelsauren Kupferoxydes von gleichem Wassergehalt an und zwischen 20 bis 30° erhält man Krystalle mit 4 Aequiv. Wasser in der Form des schwefelsauren Eisenoxyduls, dessen Krystalle gleichfalls 4 Aeq. Wasser enthalten. 3) Kieselsaures Manganoxydul kommt im Mineralreich vielfach vor, doch sind diese Verbindungen noch nicht hinreichend studirt. Wir heben hervor: den rothen Mangankiesel (Manganaugit, zweidrittelkieselsaures Manganoxyd, $3\ MnO, 2\ SiO^3$), den schwarzen Mangankiesel (drittelkieselsaures Manganoxydul, $3\ MnO, SiO^3$); andere Mangansilicate sind: Troostit, Hormangan, Allagit, Photicit, Rhodonit, Hydropit, Marcelin.

Manganoxydulhydrat erhält man durch Zusatz von kaustischem Kali oder Natron zu einer Auflösung eines Mangansalzes. Es ist ein weißer, voluminöser, flockiger Niederschlag, der sich an der Luft sehr leicht bräunt, indem er begierig Sauerstoff aufnimmt. — Manganoxyd-Oxydul, rothes Manganoxyd ($Mn^3 O^4$ oder $MnO. Mn^2 O^3$) kommt in der Natur als Hausmannit

*) L'Inst. 18. Mai 1853.
**) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXVII. S. 207.

oder Schwarzmanganerz vor. Hauer hat *) Kryſtalle von Hausmannit künſtlich dargeſtellt. Als er größere Mengen eines Gemiſches von Chlormangan mit Salmiak bei Zutritt der Luft glühte, bis kein Chlor mehr fortging, bildeten ſich hohle Druſenräume, in welchen ſich, ſo wie an den Wandungen des Tiegels, Kryſtalle von Hausmannit vorfanden. Gewöhnlich erhält man das Manganoxydul-Oxyd durch Glühen des reinen Oxyduls oder der kohlenſauren oder ſalpeterſauren Verbindung bei Zutritt der Luft. Während dieſe Verbindungen beim Glühen Sauerſtoff aufnehmen, geben die höheren Oxydationsſtufen ſolchen ab und liefern gleichfalls Oxyd-Oxydul. — Manganoxyd, Mn^2O^3 kommt in der Natur kryſtalliſirt und derb vor, als Braunit und Hartmangan (Pſilomelan). Zum Theil enthalten dieſe Mineralien auch Superoxyd eingemengt. Mit dem Braunſtein können dieſe Mineralien jedoch nicht verwechſelt werden, da ſie ein braunes Pulver liefern, während erſteres auch in der Pulverform ſeine graue Farbe beibehält. Künſtlich iſt das Manganoxyd nur ſehr ſchwierig rein darzuſtellen. Man glüht das ſalpeterſaure Manganoxydul, das Manganoxydhydrat oder das Superoxyd vorſichtig. Bei ſtärkerem Glühen bleibt Oxyd-Oxydul. Das Manganoxyd iſt ein ſchwarzes Pulver, und eine ſehr ſchwache Baſe. Die Löſungen in Schwefelſäure oder Salzſäure zerſetzen ſich beim Erwärmen. Erſtere bildet mit ſchwefelſaurem Kali ein Doppelſalz, den ſogenannten Manganalaun ($KO, SO^3 + Mn^2O^3, 3\,SO^3$). Die Thonerde im gewöhnlichen Alaun iſt hier durch Manganoxyd vertreten. Durch das Manganoxyd werden Glasflüſſe violett gefärbt; bei verſchiedenen Mineralien, z. B. dem Amethyſt, rührt die violette Farbe gleichfalls von einer geringen Menge Manganoxyd her. — Das Manganoxydhydrat (Mn^2O^3, HO) kommt in der Natur in großen ſtahlgrauen Kryſtallen als Manganit oder Glanzmangan vor, häufig eingeſprengt im Braunſtein. Künſtlich erhält man es, wenn man das feuchte Manganoxydulhydrat der Einwirkung der Luft ausſetzt oder wenn man kohlenſaures Manganoxydul in Waſſer vertheilt und Chlor in gewiſſer Menge hindurch leitet. Das Oxydul entfernt man durch kalte verdünnte Salpeter- oder Eſſigſäure. Das Manganoxydhydrat iſt ein dunkelbraunes Pulver; das Waſſer geht ſehr leicht fort.

Die wichtigſte Verbindung iſt das Superoxyd MnO^2. Es kommt als Pyroluſit (Graubraunſteinerz, Braunſtein, Polianit) in großer Menge in der Natur vor. Das Mineral bildet entweder gerade rhombiſche Säulen oder ſtenglige, faſerige und ſtrahlige, auch nierenförmige oder tropfſteinartige Maſſen. Dieſe beſitzen einen metalliſchen Glanz und eine dunkel eiſenſchwarze Farbe, auf Papier färben ſie ziemlich leicht ab. Der Strich iſt rein ſchwarz und dadurch unterſcheidet ſich dieſes Mineral von den anderen aufgeführten Manganerzen mit minderem Sauerſtoffgehalt, von denen einige dem Braunſtein im Aeußern ähnlich ſehen. Da der Braunſtein mit dieſen Erzen oft zuſammen vorkommt, ſo wird er mit dieſen zuſammen gefördert, obgleich ſie nicht den Werth beſitzen, wie der eigentliche Braunſtein. Deshalb iſt es für den Techniker von großer Wichtigkeit, den Braunſtein oft auf ſeine Reinheit zu unterſuchen. Wie dies anzuſtellen iſt, werden wir ſpäter anführen.

Spec. Gew. = 4,82 bis 4,94. Vor dem Löthrohr zeigt ſich der Braunſtein unſchmelzbar; in der Reductionsflamme wird er durch Sauerſtoffverluſt

*) Ber. d. Wien. Akad. Bd. XIII. S. 485.

rothbraun. Mit Borarglas ſchmilzt er leicht unter ſtarkem Aufbrauſen. Der Braunſtein findet ſich auf Gängen und Lagern im Porphyr, Thonſchiefer, Glimmerſchiefer, Eiſenſteinlager. Die Fundorte ſind ziemlich zahlreich; bei Ilmenau, Saalfeld und anderen Orten Thüringens, bei Ilefeld und Goslar am Harz, im Erzgebirge, bei Schmalkalden, im Siegenſchen, Saarbrückenſchen, Bayreutſchen, Reußiſchen und Mähren, Böhmen, Ungarn, Cornwallis, Skandinavien und Frankreich.

Künſtlich ſtellt man dieſe Verbindung dar durch Kochen von Manganoxyd oder Oxyd-Oxydul mit concentrirter Salpeterſäure oder durch vorſichtiges Glühen von ſalpeterſaurem Manganoxydul. Leichter iſt das Manganſuperoxyd darzuſtellen, wenn man Oxyd-Oxydul mit chlorſaurem Kali ſchmilzt; das hierbei entſtehende Chlorkalium wird durch Waſſer ausgezogen. Erhitzt man zu ſtark, ſo tritt eine ſehr heftige Zerſetzung ein und man erhält nur Manganoxyd. Beim ſtarken Erhitzen entweicht aus dem Braunſtein ein Drittheil ſeines Sauerſtoffgehaltes, indem Oxyd-Oxydul zurückbleibt; beim Erhitzen mit Schwefelſäure entweicht die Hälfte des Sauerſtoffs, indem ſchwefelſaures Manganoxydul zurückbleibt. Dieſe Eigenſchaft des Braunſteins iſt ſehr wichtig, weil der entweichende Sauerſtoff als kräftiges Oxydationsmittel wirkt. Außer zur Darſtellung des Sauerſtoffs dient der Braunſtein zur Darſtellung der ſchwefligen Säure, namentlich aber zur Darſtellung des Chlors, zum Entfärben des Glaſes und in der Töpferei, um eine ſchwarze Glaſur oder eine violette Farbe hervorzubringen. Le Roux empfiehlt *) eine Miſchung von Braunſtein mit verdünnter Salzſäure für die Bunſen'ſche Zinkkohlenbatterie.

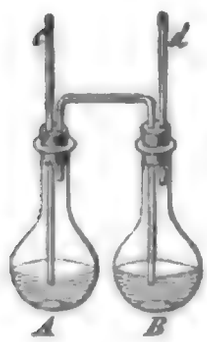
Mengt man den Braunſtein mit leicht oxydirbaren organiſchen Stoffen (Zucker, Kleeſäure ꝛc.), ſo erhält man das ſchwefelſaure Manganoxydul viel leichter als durch Einwirkung der Schwefelſäure auf reinen Braunſtein. Bei der Darſtellung der ſchwefligen Säure erhitzt man ein Gemenge von Schwefel und Braunſtein ($MnO^2 + 2S = MnS + SO^2$). Erhitzt man Braunſtein mit Salzſäure ſo bildet ſich Manganchlorür, während ein anderer Theil der Salzſäure zerſetzt wird, indem ſich der Waſſerſtoff derſelben mit dem aus dem Braunſtein frei werdenden Sauerſtoff zu Waſſer verbindet, während das Chlor entweicht. Ueber die Wirkung des Braunſteins als Entfärbungsmittel des Glaſes hatte man bis vor ganz kurzer Zeit keine rechte Vorſtellung. Einen Theils geſchieht dieſer Zuſatz beim Glasſatze, um die Kohletheilchen zu oxydiren und dadurch ihre färbende Wirkung aufzuheben; wichtiger aber iſt es, das in dem Glasſatze enthaltene Eiſen unſchädlich zu machen. Man nahm gewöhnlich an **), daß durch den Braunſtein das Eiſenoxydul in Oxyd verwandelt werde. Letzteres ertheilt dem Glaſe eine bei weitem geringere gelbliche Farbe, die in dünneren Lagen weniger oder kaum ſichtbar iſt. Nachdem nun aber Maumené ***) vor wenigen Jahren an den Löſungen der Kobalt- und Nickelſalze gezeigt hat, daß auch auf chemiſchen Wege eine Aufhebung complementärer Farben zumeiſt ſtattfindet, hielt es Liebig für höchſt wahrſcheinlich ****), daß auch beim Schmelzen des Glaſes der nämliche Fall

*) Compt. rend. T. XXXVII. p. 388.
**) Gmelin, Handbuch der Chemie Bd. II. S. 363.
***) Compt. rend. T. XXX. p. 209.
****) Ann. d. Chem. und Pharm. Bd. XC. S. 112.

eintrete, da die Farben, welche das entſtehende Manganoxydul und das Eiſenoxydul dem Glaſe ertheilen, complementär ſind. Als er die Löſungen dieſer beiden Salze in einem gewiſſen Verhältniß zuſammenmiſchte, trat wirklich eine Entfärbung ein; dafür aber, daß beim Zuſammenſchmelzen des Glaſes daſſelbe eintrete, forderte Liebig erſt noch einen directen Beweis. Dieſer Beweis aber iſt bereits vor 20 Jahren geliefert worden *). Der Hofmechanikus Dr. Körner zu Jena erhielt ein abſolut waſſerhelles Glas, als er ein durch Manganoxydul ſchwach röthlich gefärbtes Flintglas mit einem andern, das durch Eiſenoxydul ſmaragdgrün gefärbt war, zuſammenſchmolz. Hiernach ſpricht Sukow auf das Beſtimmteſte aus, daß das Farbloswerden des Glaſes durch das ergänzende Verhältniß der Farben verſchieden färbender, zu einem Glaſe verſchmolzener Pigmente bewirkt worden ſei. Er zeigte ferner, daß ein Gleiches bei vielen Mineralien der Fall, und daher dieſe Erſcheinung eine ſehr allgemeine ſei. — Weißes Glas, zu deſſen Entfärbung man geringe Mengen Braunſtein angewendet hat, wird bisweilen im Lichte gelb. Die ſchwache Purpurfärbung, die manches Fenſterglas zeigt, rührt ebenfalls von geringen Mengen Mangan her.

Schon oben haben wir angeführt, daß es für den Techniker ſehr wichtig iſt, ſtets den Braunſtein, bevor er ihn verwendet, genau zu unterſuchen. Die Wirkung beruht ja ganz auf dem Sauerſtoffgehalt; nicht allein, daß dem Braunſtein oft andere Manganerze beigemengt ſind, ſondern der Braunſtein ſelbſt iſt ſtets durch Gangart verunreinigt. Verſchiedene Chemiker haben einfache Unterſuchungsmethoden angegeben, die wenig Zeit in Anſpruch nehmen. Zudem kann man dieſe Unterſuchung noch dadurch vereinfachen, daß man den Inhalt mehrerer Fäſſer genau unter einander miſcht. Am wichtigſten iſt dieſe Unterſuchung bei der Bereitung des Chlorgaſes; unterläßt man ſie, ſo kann man nie auf zuverläſſige Reſultate rechnen, ja oft iſt dann das Chlor durch Salzſäure verunreinigt und dieſem Umſtande iſt es wohl mit zuzuſchreiben, daß ſich ſo oft beim Bleichen mit Chlor Unfälle ereignen.

Von den verſchiedenen Prüfungsmethoden beſprechen wir vorzüglich nur eine, die für alle Fälle ausreicht und wegen ihrer Einfachheit und Sicherheit bedeutende Vorzüge beſitzt. Sie iſt von Will und Freſenius angegeben und gründet ſich darauf, daß 1 Aequiv. Braunſtein mit Schwefelſäure übergoſſen und dann erhitzt durch den freiwerdenden Sauerſtoff 1 Aequiv. Kleeſäure in 2 Aequiv. Kohlenſäure verwandelt. Der Apparat, der zu dieſen Verſuchen dient, beſteht aus zwei kleinen Kolben zu 2 Unzen Inhalt, die man nach Art der nebenſtehenden Figur zurichtet. In den Kolben A bringt man eine abgewogene Menge Braunſtein, $2^1/_2$ Th. neutrales oxalſaures Kali oder 2 Th. neutrales oxalſaures Natron und ſo viel Waſſer, daß der Kolben ungefähr $^2/_3$ gefüllt iſt. Den Kolben B füllt man zur Hälfte mit concentrirter Schwefelſäure. Hat man den Apparat zuſammengeſetzt, ſo wägt man denſelben und verſchließt die Röhre c mit etwas Wachs. Saugt man nun bei d etwas Luft aus, ſo tritt Schwefelſäure nach A über; dies wird ſo lange wiederholt, bis keine Kohlenſäureentwickelung mehr ſtattfindet. Die Kohlenſäure geht durch die Schwefelſäure hindurch, ſo daß



*) Zeitſch. f. d. geſammt. Naturw. Bd. V. S. 217.

ſie vollkommen trocken aus d entweicht. Entwickelt ſich ſelbſt bei Ueberſchuß an Schwefelſäure keine Kohlenſäure mehr und iſt das ſchwarze Pulver am Boden von A verſchwunden, ſo iſt der Verſuch — in der Regel nach 10 Minuten — beendet. Zuletzt erwärmt man den Kolben A ein wenig, um alle Kohlenſäure auszutreiben, entfernt den Wachspfropf bei c und ſaugt nun bei d langſam die Luft aus, bis der Geſchmack der Kohlenſäure nicht mehr merklich iſt. Nach dem Erkalten wiegt man den Kolben wieder und aus dem Gewichtsverluſt berechnet man den Gehalt an Manganſuperoxyd im unterſuchten Braunſtein. Um jede weitläuftige Rechnung zu vermeiden, nimmt man eine beſtimmte Menge Braunſtein (2,97 Grm.), dann giebt die Zahl der Centigramme, welche der Kolben nach dem Verſuch weniger wiegt, durch 3 dividirt ſogleich den Procentgehalt des Braunſteins an Superoxyd an.

Mitunter enthält der Braunſtein kohlenſaure alkaliſche Erden und dann muß das Unterſuchungsverfahren ein wenig abgeändert werden. Man gießt dann auf den Braunſtein im Kolben A nicht Waſſer, ſondern ſehr verdünnte Schwefelſäure und treibt durch dieſe erſt die Kohlenſäure bei gelinder Wärme aus. Dann füllt man etwa 3 Grm. käufliche Oxalſäure in ein kleines Glasröhrchen, das man an einem Faden in A aufhängt. Das weitere Verfahren iſt daſſelbe.

Ungeachtet dieſe Methode ſehr leicht auszuführen iſt und dabei doch ſichere Reſultate giebt, iſt ſie dennoch im geſchäftlichen Verkehr ſehr in Mißcredit gekommen. Bei der Prüfung ein und deſſelben Braunſteins erhielten verſchiedene Perſonen oft ziemlich abweichende Reſultate, die jedoch, wie Freſenius gezeigt hat *), keineswegs durch die Methode verurſacht wurden. Die Urſache dieſer erheblichen Differenzen lag in der unbeſtimmten Art, wie man den zu unterſuchenden Braunſtein trocknete. Will man einen ſicheren Anhaltspunkt haben, ſo muß ſtets angegeben werden, bei welcher Temperatur der Braunſtein getrocknet worden iſt. Am beſten iſt es den Braunſtein bei + 120° C. zu trocknen; erſt bei dieſer Temperatur giebt er alle Feuchtigkeit ab, ohne chemiſch gebundenes Waſſer zu verlieren. Freſenius hat hierzu einen eigenen Apparat conſtruirt, der beim Mechanikus Stumpf in Wiesbaden käuflich zu haben iſt. In der Technik läßt ſich jedoch ein Trocknen bei + 100° C. leichter ausführen, weil dies die Temperatur des kochenden Waſſers iſt. Der Techniker braucht daher kein Thermometer in Anwendung zu bringen; er kann das Trocknen des Braunſteins auf einem Dampfkeſſel vornehmen, der genau die vorgeſchriebene Temperatur inne hält. Will man dieſe als Normaltemperatur gelten laſſen, ſo muß man doch beachten, daß der ſehr feingepulverte Braunſtein in dünner Schicht ſechs Stunden lang dieſer Wärme ausgeſetzt werden muß, wenn er als vollkommen trocken angeſehen werden ſoll. Nach Freſenius würde der Braunſteinhandel dadurch bedeutend an Sicherheit gewinnen, wenn man alle Abſchlüſſe auf bei + 100° C. getrockneten Braunſtein bezöge und die Procente an Superoxyd durch den Zähler eines Bruches ausdrückte, deſſen wechſelnder Nenner die jeweilige bei + 100° ausgetriebene Feuchtigkeit, für die im Handel, wenn ſie ein gewiſſes Maß überſchreitet, häufig eine Vergütigung geleiſtet wird, bezeichnete. So wäre z. B. Braunſtein von 60/100 ſolcher, der in 100 Th. bei + 100° C. getrocknetem Braunſtein 60 Proc. Superoxyd enthielte und Braunſtein von 60/107 ſolcher, der in 100 Th. bei + 100° C. getrocknetem Braunſtein 60 Proc.

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXV. S. 277.

Superoxyd, aber in dem Zuſtande, wie er in den Handel kommt, ſo viel Waſſer enthält, daß auf 100 Pfund bei + 100° getrockneten Braunſtein 7 Pfund Feuchtigkeit kommen. Während alſo bei dieſer Bezeichnung der Zähler den Gehalt des Braunſteins an Superoxyd angiebt, zeigt der Nenner die Zahl der Pfunde an, die ſtatt 100 Pfund bei + 100° C. getrockneten Braunſteins geliefert werden müſſen. Nichts iſt einfacher, als die Art, wie man aus dem Feuchtigkeitsgehalt den Nenner berechnet. Verlieren z. B. 100 Grm. Braunſtein 6 Grm. Waſſer, wenn ſie bei + 100° C. getrocknet werden, ſo enthalten mithin 100 Th. Braunſtein des Handels 94 Th. bei + 100° C. getrockneten. Der Nenner ergiebt ſich nun aus dem Anſatz 94 : 100 = 100 : z; z alſo = 106,4.

Manganſuperoxydhydrat enthält je nach der Bereitungsart verſchiedene Mengen Waſſer. Nach Mitſcherlich beſitzt es die Zuſammenſetzung MnO^2, HO, wenn man manganſaure oder übermanganſaure Salze durch Waſſer oder verdünnte Säuren zerſetzt. Nach Berthier erhält man dieſelbe Verbindung, wenn man durch Waſſer, in welchem kohlenſaures Manganoxydul ſuspendirt iſt, Chlor leitet und dann den Rückſtand gut mit verdünnter Säure auswäſcht. Nach Winkelblech beſitzt der Niederſchlag, der entſteht, wenn man ein Gemenge von kauſtiſchem und unterchlorigſaurem Kali zu einer Auflöſung eines Manganoxydulſalzes ſetzt, die Formel 2 MnO^2, HO. Weiter exiſtiren noch die Verbindungen 3 MnO^2, HO und 4 MnO^2 HO.

Manganſäure MnO^3. Die Säure ſelbſt hat man bis jetzt nicht darſtellen können; ſie exiſtirt nur in ihren Verbindungen mit Baſen. Die manganſauren Salze ſind wenig beſtändig und daher auch wenig bekannt. Am häufigſten dargeſtellt wird das manganſaure Kali. Man ſchmilzt Braunſtein mit kauſtiſchem Kali zuſammen; hält man hierbei den Luftzutritt ab, ſo zerfällt das Superoxyd in Oxyd und Manganſäure ($3\ MnO^2 = Mn^2O^3 + MnO^3$). Um den Braunſtein vollſtändig in Manganſäure zu verwandeln, nimmt man entweder das Glühen in einem Sauerſtoffſtrome vor oder man ſetzt der geſchmolzenen Maſſe Salpeter oder chlorſaures Kali in kleinen Mengen zu. Die Farbe der geſchmolzenen Maſſe iſt ſo dunkelgrün, daß ſie faſt ſchwarz ausſieht. Wegen dieſer intenſiven Färbung ertheilt das manganſaure Kali, wenn nur höchſt wenig davon mit großen Mengen anderer Salze zuſammengeſchmolzen wird, dieſen eine intenſive grüne Farbe. Dadurch iſt überhaupt die Gegenwart des Mangans ſehr leicht zu erkennen. — Enthält die geſchmolzene Maſſe freies Kali, ſo liefert eine concentrirte Löſung unter der Luftpumpe über Schwefelſäure ſchöne grüne Kryſtalle. Von dem Kali kann man dieſe Kryſtalle ſehr leicht dadurch befreien, daß man ſie auf einem poröſen Ziegelſtein ausbreitet. Das Kali zerfließt und zieht in den Stein ein. Nach Zwenger*) iſt die Farbe dieſer Kryſtalle nicht grün, ſondern eine Mittelfarbe zwiſchen tombakbraun und kupferroth mit einem Stich ins Stahlbraune, ziemlich ähnlich der Farbe, die das unzerſetzte Buntkupfererz zeigt. Selbſt bei mehrmaliger Darſtellung erhielt Zwenger nie grüne Kryſtalle. Sie beſaßen ſtets einen Metallglanz, den ſie ſehr raſch an der Luft verlieren; damit ändert ſich die Farbe, die ſo tief grün wird, daß ſie beinahe ſchwarz erſcheint. Die Kryſtalle gehören dem rhombiſchen Syſtem an und ſind iſomorph mit dem ſchwefelſauren, ſelenſauren und chromſauren Kali. — In der Auflöſung iſt das manganſaure

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCI. S. 46.

Kali sehr wenig beständig, selbst wenn sie freies Kali enthält. Das Kali zieht nach und nach Kohlensäure an, und die dunkelgrüne Farbe geht in roth über; es bildet sich Uebermangansäure und Manganſuperoxyd, das sich ausscheidet. Mit der Zeit verschwindet auch die rothe Farbe und die Lösung wird farblos, indem auch die Uebermangansäure nach und nach durch die Kohlensäure der Luft des Kalis beraubt wird; es scheidet sich dann alles Mangan als Superoxyd ab. Rascher wird diese Zersetzung durch Zusatz einer stärkeren Säure herbeigeführt. Verdünnt man die concentrirte Lösung mit vielem Wasser, so geht die dunkelgrüne Farbe sehr bald in roth über. Dasselbe bewirken überhaupt alle desoxydirenden Substanzen. Aus diesem Grunde darf man die Lösung nicht durch Papier filtriren. Diese auffallende Farbenveränderung hat Veranlassung gegeben, daß die älteren Chemiker das mangansaure Kali mit dem Namen Chamaeleon minerale belegten. — Außerdem sind noch die Verbindungen der Mangansäure mit Natron, Baryt und Strontian bekannt.

Uebermangansäure Mn^2O^7. Sie läßt sich als wässerige Lösung darstellen, wenn man den übermangansauren Baryt vorsichtig durch Schwefelsäure zersetzt. Die Lösung, welche eine sehr schöne rothe Farbe besitzt, ist jedoch sehr wenig beständig; geringe Wärme, Sonnenlicht, organische Substanzen und freies Ammoniak bewirken sehr rasch eine Entfärbung, wobei sich Manganſuperoxyd absetzt. Die Uebermangansäure ist eins der kräftigsten Oxydationsmittel. Die Salze der Uebermangansäure mit starken Basen, die keiner höheren Oxydation fähig, sind ziemlich beständig und deshalb auch in größerer Zahl dargestellt als die mangansauren Salze. Das übermangansaure Kali erhält man, wenn man eine concentrirte Lösung von mangansaurem Kali einige Zeit kocht; unter der Luftpumpe entstehen so intensiv rothgefärbte Krystalle, daß sie fast schwarz mit einem grünen metallischen Reflex erscheinen. In größeren Mengen stellt man diese Krystalle leicht dar, wenn man einem Gemisch aus gleichen Theilen Braunstein und chlorsaurem Kali einen viertel Theil kaustisches Kali in möglichst wenig Wasser gelöst zusetzt und das Ganze, nachdem das Wasser allmälig verdampft worden ist, langsam in einem Tiegel bis zur dunkeln Rothgluth erhitzt. Die erkaltete Masse löst man in Wasser, gießt die Lösung klar ab und dampft sie ein; beim Erkalten setzen sich zahlreiche Krystalle von übermangansaurem Kali ab. Das übermangansaure Kali ist sehr schwer in Wasser löslich. Wasser von 15° C. löst nur den $^1/_{16}$ Theil seines Gewichtes davon auf. Daher können die Krystalle dieses Salzes sehr leicht durch Umkrystallisiren von dem beigemengten Chlorkalium gereinigt werden. Ohne sich zu verändern, werden die Krystalle mit der Zeit stahlblau; das Pulver ist roth. Das übermangansaure Kali ist mit dem überchlorsauren Kali isomorph. Aus einer Lösung beider Salze schießen Krystalle an, in welchen beide Salze in demselben Verhältniß enthalten sind wie in der Lösung. Ist darin sehr viel überchlorsaures Kali enthalten, so sind die Krystalle roth; bestehen sie aus beiden Salzen zu gleichen Theilen, so sind sie schwarz. Erhitzt man die Krystalle von übermangansaurem Kali, so verlieren sie unter Knistern 10,8 Proc. Sauerstoff; es bleibt mangansaures und Manganſuperoxyd-Kali zurück. Mit Schwefel und Phosphor detoniren sie beim Erwärmen sehr heftig. Kohle, Arsen, Antimon verbrennen beim Erhitzen mit dem Salz. In einem Strom von Wasserstoff rasch auf 160° C. erhitzt, entsteht unter Feuererscheinung ein Gemenge von Kalihydrat und Manganoxydul.

Gießt man in eine warme Löſung von übermanganſaurem Kali eine Auflöſung von ſalpeterſaurem Silberoxyd, ſo ſcheiden ſich nach dem Erkalten große regelmäßige Kryſtalle von übermanganſaurem Silberoxyd aus. Mit Hülfe deſſelben kann man die übrigen übermanganſauren Salze darſtellen, wenn man die Löſung des erſten mit der entſprechenden Chlorverbindung miſcht. Die Löſung des übermanganſauren Kalis wird durch organiſche Subſtanzen gleichfalls zerſetzt. Filtrirt man ſie durch Papier, ſo iſt das Filtrat grün gefärbt; es enthält alſo manganſaures Kali. Iſt die Löſung ſehr verdünnt und geht ſie nur ſehr langſam durchs Filter, ſo wird ſie ganz farblos, während das Papier durch das ausgeſchiedene Manganſuperoxydhydrat ſtark braun gefärbt erſcheint. Gießt man in eine verdünnte Löſung von übermanganſaurem Kali eine concentrirte Löſung von kauſtiſchem Kali, ſo verändert ſie die Farbe; ſie wird zuerſt violett, dann ſchön grün und enthält nun manganſaures Kali. Der Uebergang aus dem Rothen ins Grüne findet nicht plötzlich ſtatt; gießt man die Löſung des kauſtiſchen Kalis in kleinen Mengen zu, ſo nimmt die Flüſſigkeit alle Nüancen des Violetten, der Uebergangsfarbe vom Rothen zum Grünen an. Iſt die Auflöſung des übermanganſauren Kalis ſehr verdünnt, ſo bleibt der freigewordene Sauerſtoff in dem Waſſer gelöſt oder es bildet ſich vielleicht Waſſerſtoffſuperoxyd; die Flüſſigkeit wird wieder roth, ſobald man das hinzugefügte Kali mit einer Säure neutraliſirt. Ammoniak entwickelt aus der Löſung des übermanganſauren Kalis Stickgas, wobei ſich Manganſuperoxydhydrat abſcheidet.

Von den Verbindungen des Mangans mit anderen Elementen führen wir die mit Schwefel und Chlor an. Schwefelmangan MnS kommt natürlich, derb und in Kryſtallen (Würfeln) von eiſenſchwarzer, dunkel ſtahlgrauer oder bräunlich ſchwarzer Farbe als Manganglanz oder Manganblende vor. Das metalliſche Mangan verbindet ſich nicht direct mit dem Schwefel; man muß daher dieſe Verbindung auf Umwegen darſtellen. Sie fällt ab als Nebenproduct bei der Darſtellung der ſchwefligen Säure aus Braunſtein und Schwefel. Man erhält ſie ferner, wenn man Manganoxyd mit Schwefel erhitzt oder wenn man über erhitztes kohlenſaures Manganoxydul oder Manganoxyd-Oxydul einen Strom Schwefelwaſſerſtoffgas leitet. An der Luft hält ſich das Schwefelmangan nicht lange; es nimmt Sauerſtoff auf und bräunt ſich. Eben ſo iſt der Schwefel nicht ſehr innig damit verbunden; beim Erhitzen an der Luft entweicht er vollſtändig. Durch Waſſerſtoffgas wird der Schwefel gleichfalls entführt und durch Säuren, ſelbſt verdünnte, wird das Schwefelmangan vollſtändig zerlegt. — Setzt man zu einer neutralen Auflöſung eines Manganoxydulſalzes Schwefelammonium, ſo erhält man einen fleiſchfarbenen Niederſchlag (Schwefelmanganhydrat), der nicht unlöslich in einem Ueberſchuß des Fällungsmittels iſt. Weitere den zahlreichen Sauerſtoffverbindungen entſprechende Verbindungen des Mangans mit Schwefel kennt man nicht, wohl aber verſchiedene Chlorverbindungen. Manganchlorür Mn Cl kann man auf ſehr verſchiedene Art darſtellen. Das Mangan verbindet ſich direct mit dem Chlor unter Feuererſcheinung. Leitet man über kohlenſaures Manganoxydul oder Oxyd-Oxydul bei Abſchluß der Luft und allmälig geſteigerter Hitze trockenes Salzſäuregas, ſo erhält man dieſe Verbindung ebenfalls. Sie entſteht ferner, wenn man in ſtarker Glühhitze trockenes Chlorgas über ein Gemenge von Manganoxydul mit Kohle leitet. Hier erhält man gelbe mit Kohle gemengte Kryſtalle; ſonſt iſt das Manganchlorür blaß roſenroth und zeigt ein blättrig-

kryſtalliniſches Gefüge. Es ſchmilzt in der Glühhitze, iſt aber nur ſchwerflüchtig. Beim Glühen in feuchter Luft wird es zerſetzt; es entweicht das Chlor als Salzſäure und der Rückſtand iſt Manganoxyd-Oxydul. Durch Waſſerſtoffgas wird es nicht zerſetzt, wohl aber durch Phosphorwaſſerſtoff und Schwefel. In Verbindung mit Waſſer erhält man das Chlorür durch Auflöſen irgend einer Oxydationsſtufe des Mangans in Salzſäure. Den Braunſtein reinigt man erſt durch Salpeterſäure; vom Eiſenoxyd kann man die concentrirte Chlorürlöſung durch einen Zuſatz von kohlenſaurem Manganoxydul befreien. Man kann auch den gereinigten Braunſtein mit der Hälfte ſeines Gewichtes Salmiak glühen und den Rückſtand mit Waſſer ausziehen. Man erhält das Manganchlorür in großer Menge als Nebenproduct bei der Bereitung des Chlorgaſes aus Braunſtein und Salzſäure. Die in dem natürlichen Erz enthaltenen Verunreinigungen, welche in die Löſung mit übergehen, entfernt man zumeiſt durch kohlenſaures Kali oder Natron, das man ſo lange hinzuſetzt, bis etwas kohlenſaures Manganoxydul mit niederfällt. Aus ſeinen Löſungen kryſtalliſirt das Chlorür in roſenrothen, vierſeitigen Tafeln mit 4 Aequiv. Waſſer. Nach Graham enthalten die Kryſtalle 6 Aequiv. Waſſer. Bei + 25° zerfallen die Kryſtalle zu einem weißen Mehl und bei 50° fangen ſie an zu ſchmelzen. Beim Erwärmen unter Luftabſchluß geht das Waſſer ganz fort. Das Manganchlorür iſt ſehr leicht in Waſſer und Alkohol löslich. Es geht mit einigen Chlormetallen Verbindungen ein. Man benutzt es zur Darſtellung der verſchiedenen Manganſalze, in der Färberei und bei der Reinigung des Leuchtgaſes. Um die bei der Bereitung des Chlorgaſes abfallenden ſehr bedeutenden Mengen von Manganchlorür in der Technik nutzbar zu verwenden, hat man verſucht, daſſelbe bei der Darſtellung des Chlorkalkes zu verbrauchen. Man erhitzt es ſehr gelinde in einem Ofen und leitet die ſtark mit Chlor beladenen Dämpfe in die Kalkkammern. Hierbei verwandelt ſich das Manganchlorür in Manganoxyd und dieſes diente wieder zur Chlorbereitung. Da daſſelbe aber nur die Hälfte an Chlor liefert wie ein gleiches Gewicht Braunſtein und da überhaupt dieſe Verwerthung des Manganchlorürs ſehr beträchtliche Koſten verurſachte, ſo iſt man wieder ganz davon zurückgekommen. — Das Manganchlorid $Mn^2 Cl^3$ iſt ſehr wenig beſtändig. Durch Auflöſen von Manganoxyd in kalter Salzſäure kann man das Chlorid nicht kryſtalliſirt erhalten; die Löſung zerſetzt ſich ſchon in der Kälte. Das Manganſuperchlorid $Mn^2 Cl^7$ iſt gleichfalls wenig beſtändig. Es entſteht, wenn man eine Löſung von übermangansaurem Kali in concentrirter Schwefelſäure mit geſchmolzenem Chlorkalium oder Chlornatrium, das man nach und nach in kleinen Stücken zuſetzt, erhitzt. Das hierbei entweichende grünlich gelbe Gas condenſirt ſich bei — 15 bis 20° zu einer braungelben Flüſſigkeit, die ſich an der Luft oder bei Zuſatz von Waſſer in Salzſäure und Uebermangansäure zerſetzt. Erſtere kann man durch feuchtes Silberoxyd entfernen und erhält dann eine Auflöſung von reiner Uebermangansäure.

Die intenſive grüne Färbung der mangansauren Alkalien giebt das leichteſte Erkennungsmittel für das Mangan ab. Schmilzt man die zu unterſuchende Subſtanz mit trockenem kohlenſaurem Natron und etwas Salpeter zuſammen, ſo tritt die grüne Farbe deutlich hervor, ſelbſt wenn nur $^1/_{100}$ Proc. Mangan zugegen iſt. Die Borax- und Phosphorſalzperle wird in der äußeren Flamme durch Mangan ſchön amethyſtroth gefärbt; in der inneren Flamme verſchwindet dieſe Farbe wieder. Auf naſſem Wege dienen zur Erkennung des Manganoxyduls unterchlorigſaures

Kali, kauſtiſches Kali und Schwefelammonium. Kocht man die Löſung eines Manganoxydulſalzes mit einem Ueberſchuß von unterchlorigſaurem Kali, ſo ſchlägt ſich Manganſuperoxyd nieder und die darüber ſtehende Flüſſigkeit iſt durch übermanganſaures Kali ſehr ſchön roth gefärbt. Kauſtiſches Kali erzeugt einen weißlichen Niederſchlag von Manganoxydulhydrat, der ſich an der Luft ſogleich bräunt. Ammoniakſalze verhindern aber die Fällung theilweiſe, weshalb ſie durch Kochen mit kauſtiſchem Kali zerſetzt werden müſſen. Schwefelammonium fällt aus neutralen Löſungen hellfleiſchfarbenes Schwefelmangan, das ſich an der Luft ſchnell bräunt. Die höheren Oxydationsſtufen des Mangans kann man ſehr leicht in die dem Oxydul entſprechende Chlorverbindung überführen und dann die eben genannten Reagentien in Anwendung bringen. — Quantitativ beſtimmt man das Mangan am beſten aus der kohlenſauren Verbindung, die beim Glühen Manganoxyd-Oxydul zurückläßt. Es dürfen dann natürlich keine anderen Körper zugegen ſein, deren kohlenſaure Verbindungen gleichfalls unlöslich ſind. W. B.

Manometer (von *μανὸς*, dünn, und *μέτρον*, das Maß) Dichtigkeitsmeſſer bezeichnet zunächſt ein Inſtrument, durch welches die Dichte der atmoſphäriſchen Luft angegeben wird. In dieſem Sinne wird das Wort in älteren phyſikaliſchen Schriften gebraucht.

Die Dichte der Luft, d. i. die relative Menge von Luft in einem beſtimmten Volumen, iſt abhängig von dem Luftdruck und von der Temperatur. Nach dem Mariotte'ſchen Geſetz nimmt die Dichte zu proportional mit dem Drucke, nach dem Gay-Luſſac'ſchen Geſetz aber nimmt ſie ab, proportional mit der Zunahme der Temperatur. Der Druck der Luft, d. i. ihre elaſtiſche Spannung wird durch das Barometer angegeben; deshalb kann die Dichte der Luft nicht unmittelbar durch das Barometer angegeben werden, ſondern wird erſt mittelbar erkennbar unter Zuhülfenahme des Thermometers. Bei gleichem Barometerſtande iſt die kältere Luft die dichtere, bei gleicher Temperatur aber iſt die Luft die dichtere, welche den höheren Barometerſtand zeigt.

Die Inſtrumente, welche die Dichte der Luft direct anzeigen ſollen, können eine doppelte Einrichtung haben. Die eine Art gründet ſich auf das aëroſtatiſche Geſetz, daß jeder Körper in der Luft ſo viel an Gewicht verliert, als das Gewicht der verdrängten Luftmenge beträgt; daraus folgt nun, daß von zwei gleich ſchweren Körpern der dem Volumen nach größere den größeren Gewichtsverluſt erleidet, und ferner, daß dieſer Gewichtsverluſt in Luft von größerer Dichte bedeutender iſt als in Luft von geringerer Dichte. Befindet ſich nun an dem einen Ende eines leichten Wagebalkens ein Körper von großem Volumen, etwa eine dünnwandige, aber vollſtändig verſchloſſene Flaſche oder eine Hohlkugel, an dem anderen Ende aber ein gleich ſchwerer, aber maſſiver Körper von möglichſt großem ſpecifiſchen Gewicht, entweder ein Stück Blei oder Platina oder eine kleine mit Queckſilber gefüllte Glaskugel, und befindet ſich der Wagebalken für eine gewiſſe Luftdichte im Gleichgewicht, ſo wird eine Veränderung in der Luftdichte den Gleichgewichtszuſtand des Apparats ſtören. Nimmt die Luftdichte zu, ſo wird die Hohlkugel relativ leichter als das maſſive Bleiſtück und wird alſo ſteigen, nimmt aber die Luftdichte ab, ſo wird ſie relativ ſchwerer als das Bleiſtück und muß alſo ſinken. Die Größe der Gleichgewichtsſtörung kann man entweder durch einen

Zeiger auf einer Bogenscala angeben lassen, oder man bringt auf dem Wagebalken ein Laufergewicht an, das man so verschiebt, daß der ursprüngliche Gleichgewichtszustand wieder hergestellt ist. Auf diesem Princip beruhte das erste Manometer, das von Otto von Guericke hergestellt wurde, eben so das von Franz von Gerstner construirte. Diese Apparate heißen jetzt gewöhnlich Dasymeter.

Eigentlich geben diese Instrumente die Gewichtsveränderung an, die ein gewisses Quantum Luft erleidet, mit dem specifischen Gewichte ist aber an einer und derselben Stelle der Erdoberfläche die Dichte stets proportional, so daß aus ihnen die Veränderung in der Dichte erkannt werden kann. Eine andere Art von Manometer geht von dem Satze aus, daß die Dichte der Luft umgekehrt proportional ist mit dem Volumen, welches ein bestimmtes Luftquantum einnimmt. Sie bestehen dann im Wesentlichen aus einem Gefäß, in welchem eine gewisse Menge Luft so abgesperrt ist, daß die Absperrung durch eine geringe Quantität Quecksilber bewirkt wird, die sich in einer engen, nach Außen offenen Röhre befindet. Da das Gewicht der horizontal liegenden kleinen Quecksilbermasse auf den Elasticitätszustand der abgesperrten Luft keinen Einfluß üben kann, so wird derselbe stets mit der Elasticität der äußeren Luft übereinstimmen, und eine Veränderung des letzteren wird sich durch eine Bewegung des Quecksilbers zu erkennen geben. Trägt nun noch die Röhre, in welcher das Quecksilber sich bewegt, eine entsprechend eingerichtete Scala, so läßt sich an derselben der Dichtigkeitszustand der Luft sogleich erkennen. Instrumente dieser Art heißen auch Elaterometer.

In neuerer Zeit bezeichnet man aber mit dem Worte Manometer im Widerspruche mit der Etymologie desselben eine Gruppe von Instrumenten, deren nächster Zweck ist, nicht die Dichte, sondern den Expansivdruck elastischer Flüssigkeiten anzugeben; sie werden angewendet bei Gebläsen, vorzüglich aber bei Dampfkesseln. Es giebt verschiedene Arten solcher Manometer, je nachdem sie bestimmt sind, niedere oder hohe Drücke zu messen, oder je nachdem sie ihre Dienste bei stehenden Maschinen oder bei stark bewegten Maschinen, z. B. an Locomotiven, leisten sollen. Die einzelnen Apparate sind bereits an anderen Stellen beschrieben (vergl. die Art. Kraftmesser, Dampfmaschine Bd. II. S. 343 ff., (Locomotive Bd. IV. S. 605, auch Luftpumpe Bd. IV. S. 727), hier genüge eine übersichtliche Zusammenstellung der einzelnen Arten.

Man kann die Manometer eintheilen in 1) hydrostatische, 2) aërostatische und 3) geostatische, je nachdem der Gegendruck, durch welchen der zu messende Druck im Gleichgewicht gehalten werden soll, ein hydrostatischer, aërostatischer oder geostatischer ist.

1) Hydrostatische Manometer oder offene Manometer bestehen aus einer zweischenkligen Röhre, deren einer Schenkel mit dem Luft- oder Dampfkessel communicirt, der andere ist offen; in der Röhre befindet sich eine Flüssigkeit, auf welche der zu messende Expansivdruck wirkt, so daß sie in dem äußeren Schenkel aufsteigt; der Unterschied der Höhe der Flüssigkeitssäulen giebt unmittelbar den Druck im Luft- oder Dampfkessel an. Ist nur ein sehr geringer Druck zu messen, wie z. B. bei einem Gebläse oder bei einer Gasleitung, so genügt Wasser als Manometerflüssigkeit (Wassermanometer), sonst ist Quecksilber nöthig (Quecksilbermanometer). Der Stand der Flüssigkeit wird entweder unmittelbar abgelesen, wo dann wenigstens der eine Röhrenschenkel von Glas sein muß, oder er wird

durch einen Schwimmer angezeigt, und dann ist die Röhre gewöhnlich von Gußeisen. Soll ein offenes Quecksilbermanometer einen hohen Dampfdruck angeben, dann muß der äußere Schenkel eine solche Länge haben, die für jede Atmosphäre Ueberdruck 28 Zoll enthält. Die Unbequemlichkeit, die bei Hochdruckkesseln durch eine übermäßige Länge der Manometerröhre entstehen würde, vermeidet das Differenzialmanometer; die Manometerröhre ist mehrere Male aufwärts und abwärts gebogen, und jedes Paar zusammengehörender Schenkel ist zur Hälfte mit Quecksilber, zur Hälfte mit Luft angefüllt. Die messende Quecksilbersäule zerfällt dadurch in einzelne Abschnitte, deren Summe den inneren Dampfdruck angiebt. Im Manometer von Journeur wirkt der Dampf nicht unmittelbar auf das Quecksilber, sondern zunächst auf eine kleine bewegliche Metallscheibe, das Quecksilber drückt auf eine größere Scheibe und beide Drucke übertragen sich auf einander mittelst eines zwischen den Scheiben befindlichen Stiels; so kann eine kleinere Quecksilbersäule einem größeren Dampfdruck das Gleichgewicht halten.

2) Aërostatische Manometer oder geschlossene Manometer, Luftmanometer. Auch hier ist, wie bei dem vorigen, der Raum des Dampf- oder Windkessels durch Quecksilber abgesperrt, das durch den zu messenden Druck in eine Röhre getrieben wird; diese ist aber oben geschlossen und enthält in ihrem oberen Theile Luft. Je mehr das Quecksilber steigt, desto mehr wird diese Luft zusammengepreßt, bis ihr vermehrter Expansivdruck in Verbindung mit dem Ueberdruck der Quecksilbersäule unter ihr dem Dampfdruck das Gleichgewicht hält. Ist die Röhre cylindrisch, so müssen die Theile der Scala um so kleiner werden, je größer der Dampfdruck wird, der an ihnen abgelesen werden soll. Um diesen Uebelstand zu vermeiden, macht man die Röhre nach oben enger, läßt sie aber mit einer Kugel oder einem birnförmigen Ansatz schließen. Da die Verjüngung der Röhrenweite in der Regel nach einer Hyperbel erfolgt, so heißt diese Art hyperbolische Manometer. Die Scala wird dann empirisch bestimmt.

3) Geostatische Manometer. Der Gegendruck gegen den Dampf wird besonders ausgeübt durch irgend einen festen, elastischen Körper. Hier sind verschiedene Einrichtungen denkbar.

a) Beim Federmanometer wirkt der Dampfdruck gegen einen Kolben, der durch eine Schraubenfeder niedergehalten wird; eine Kolbenstange giebt äußerlich an einer Scala den Stand des Kolbens und dadurch mittelbar die Größe des Dampfdrucks an.

b) Das dynamometrische Manometer von Bourdon. Der Dampf steht mit dem Innern einer krummen dünnwandigen und am Ende geschlossenen Röhre in Verbindung und der Dampfdruck sucht die Röhre etwas zu strecken. Das Ende der Röhre weist entweder unmittelbar auf eine Scala oder bewegt erst einen Fühlhebel, der mit seinem längern Arm auf eine Scala zeigt.

c) Plattenmanometer. Der Dampf wirkt gegen eine kleine Platte von dünnem Stahlblech und sucht sie nach Außen zu krümmen, die Größe dieser Krümmung wird durch einen Fühlhebel vergrößert an einer Scala angezeigt.

In allen diesen Fällen wird die Scala empirisch bestimmt, indem man mittelst der Druckpumpe einen bekannten Druck auf das Manometer wirken läßt.

Wegen einer möglichen Veränderung in der Elaſticität der angewandten Federn iſt von Zeit zu Zeit eine Reviſion dieſer Manometer nöthig. W. S.

Mariotte'ſches Geſetz, ſ. Gas.

Mars, ſ. Planeten.

Maſchine (franz. und engl. machine, von dem griech. μηχανή, Werkzeug) iſt eine Vorrichtung zur Abänderung der Wirkungsweiſe einer mechaniſchen Kraft.

Bei der großen Mannigfaltigkeit der Maſchinen iſt es ſchwierig, das allen gemeinſame Weſentliche zu einem kurzen Ausdruck zu bringen. Unter den phyſiſchen Kräften heißen diejenigen mechaniſche, deren Wirkung die Bewegung materieller Körper iſt, oder welche einen Druck erzeugen, wenn die Bewegung gehindert iſt, oder eine vorhandene Bewegung abändern. Solche Kräfte ſind die Schwere der Körper, die Muskelkraft lebender Geſchöpfe, die Elaſticität, die Cohäſion und Adhäſion, und ſelbſt der Magnetismus, die Elektricität und die Wärme, inſofern dieſelben bewegend wirken können. In nur wenigen Fällen können dieſe Kräfte unmittelbar eine beabſichtigte Wirkung ausüben; ſo bedient man ſich der Schwere unmittelbar zum Preſſen, indem man große Steine auf den zu preſſenden Gegenſtand legt, eben ſo kann man durch die Muskelkraft unmittelbar gewiſſe Laſten heben und fortbewegen, oder gewiſſe Subſtanzen zerreißen, zerreiben und dergl., aber in den meiſten Fällen ſind die zu Gebote ſtehenden Kräfte zu gerade beabſichtigten Wirkungen nicht unmittelbar brauchbar, können aber dazu brauchbar gemacht werden durch Anwendung von Vorrichtungen, welche die Wirkungsweiſe dieſer Kräfte abändern. Unmittelbar wird die Muskelkraft eines Mannes wohl nicht vermögen eine Laſt von 6 Centnern zu heben, aber durch Anwendung eines Hebels oder eines Flaſchenzuges vermag er es recht wohl; durch Anwendung ſolcher Maſchinen hat die Arbeitskraft des Mannes keinen Zuwachs erhalten, wohl aber iſt die Wirkungsweiſe ſeiner Kraft eine andere geworden. Die Kraft, durch welche in unſeren Waſſermühlen das Getreide gemahlen wird, iſt entweder die Schwere oder der Stoß des Waſſers; wollte man dieſe Kräfte unmittelbar auf das Getreide wirken laſſen, ſo möchte der Druck, den jedes einzelne Korn erleiden würde, nicht ausreichend ſein, die Cohäſion ſeiner Theile zu überwinden, abgeſehen davon, daß dieſe unmittelbare Einwirkung andere weſentliche Uebelſtände mit ſich brächte. Durch die Mühle aber wird die gegebene Kraft des Waſſers ſo abgeändert, daß dieſelbe in jedem Moment auf nur verhältnißmäßig wenige Körner gelenkt wird, und zwar in einer Weiſe, daß die Cohäſion der Körner jener Einwirkung nicht widerſtehen kann. Die Abänderung in der Wirkungsweiſe gegebener mechaniſcher Kräfte iſt das Weſen und der Zweck aller Maſchinen. Dieſem Zweck entſprechen auch die ſogenannten Arbeitswerkzeuge. Der Hammer und der Schlägel ſollen die Wirkung eines längeren Druckes in eine (faſt) augenblickliche Wirkung umwandeln, denn beide mußten durch eine Druckkraft gehoben werden, und werden beim Niederſchlagen noch durch den Druck des Armes beſchleunigt, in dem Schlage liegt nun die Geſammtwirkung beider Drucke vereinigt. War nun der Schlag des Schlägels gegen das breite Ende eines Meißels gerichtet, ſo wird durch dieſen die Wirkung des Schlages auf eine Linie übertragen, und vermag hier eine beſtimmte Wirkung hervorzubringen, z. B. eine Zertrennung der Holzfaſern in dieſer Linie, wenn der Meißel auf eine Holzfläche aufgeſetzt war, eine Wirkung, die durch unmittelbare Anwendung der Muskelkraft hervorzubringen nicht möglich geweſen

wäre. Wegen der Gleichheit des Zweckes ſind daher die Werkzeuge zu den Maſchinen zu rechnen.

An einer Kraft unterſcheiden wir den Angriffspunkt, die Richtung, die Stärke; jedes dieſer Stücke kann der Abänderung bedürfen, entweder allein für ſich oder in Verbindung mit den anderen Stücken. Der Drücker eines Thürſchloſſes giebt dem Drucke meiner Hand einen anderen Angriffspunkt, indem er die Klinke hebt, die vielleicht jenſeits des Thürſchloſſes in dem Haken liegt; ein Klingelzug leitet den Zug meiner Hand vielleicht durch mehrere Wände hindurch bis zur Glocke. Hierbei wird zugleich durch die angebrachten Winkelhebel die Richtung des Zuges geändert, auch durch eine über eine feſte Rolle gehendes Seil wird die Richtung einer Kraft abgeändert. Der ungleicharmige Hebel mag als Beiſpiel dienen, wie die Stärke einer Kraft abgeändert werden kann; der am längeren Arm wirkende ſchwache Druck bringt am Ende des kurzen Armes einen ſtarken Druck hervor, und umgekehrt würde ein am Ende des kurzen Armes wirkender ſtarker Druck am Ende des längeren Armes einen ſchwächeren hervorbringen. Aus dieſem Beiſpiele zeigt ſich ſchon, daß meiſtens mehrere Beſtimmungsſtücke der Kraft zugleich abgeändert werden, ſelbſt wenn nur die eine Abänderung die bezweckte iſt.

Die Eintheilung der Maſchinen kann nach verſchiedenen Geſichtspunkten erfolgen. Die zunächſt liegende Eintheilung berückſichtigt die Conſtruction der Maſchinen; dieſe ſind demnach entweder *einfache* oder *zuſammengeſetzte* Maſchinen. Die einfachen Maſchinen geben nur eine *einmalige* Abänderung der gegebenen Kraft, die zuſammengeſetzten eine *mehrmalige*, in der Art, daß die bereits abgeänderte Kraft immer noch weiteren Umwandlungen unterworfen wird. In den zuſammengeſetzten Maſchinen wiederholt ſich nur die Wirkungsweiſe der einfachen, daher aus dieſen ſchon die allgemeinen Geſetze der Maſchinenthätigkeit erkannt werden können. *Einfache* Maſchinen nimmt man ſechs an, den *Hebel*, die *Rolle*, das *Wellenrad*, die *ſchiefe Ebene*, den *Keil*, die *Schraube*; ſie laſſen ſich in zwei Gruppen zuſammenſtellen, denn die von der einfachen Maſchine verlangte Bewegung iſt entweder eine *Drehbewegung* um eine Axe oder eine *geradlinig fortſchreitende* Bewegung. Die Elementarmaſchine für die Drehbewegung iſt der *Hebel*, und für die geradlinig fortſchreitende Bewegung iſt es die *ſchiefe Ebene*; Modificationen des Hebels ſind die Rolle und das Wellenrad, Modificationen der ſchiefen Ebene ſind der Keil und die Schraube, und zwar in der Art, daß in der Schraube die geradlinig fortſchreitende Bewegung mit der Drehbewegung vereinigt erſcheint. Das Gemeinſame aller einfachen Maſchinen beſteht in Folgendem:

1) Sie beſtehen aus zwei Theilen: einem beweglichen und einem unbeweglichen, jener iſt der *eigentliche* Maſchinentheil, dieſer bildet die *Unterlage*; z. B. bei einem Wellenrade bildet die Welle ſammt Zapfen und Rad oder Kurbel den beweglichen Theil, die Zapfenlager mit ihrer weiteren Grundlage, dem Geſtell oder dergleichen bilden den unbeweglichen Theil; bei einer Schraube kann die Spindel den beweglichen Theil bilden, die Mutter den unbeweglichen, aber es kann auch der umgekehrte Fall ſtattfinden.

2) An dem beweglichen Maſchinentheil wirkt die bewegende Kraft (vorzugsweiſe Kraft genannt), und der zu bewegende Widerſtand, die *Laſt*; indem die Kraft die Laſt zu überwinden ſucht, entſteht an der Berührungsſtelle zwiſchen dem

beweglichen Maſchinentheil und ſeiner Unterlage ein Druck, und wenn eine Bewegung eintritt, tritt zugleich an dieſer Stelle eine Reibung auf, und dieſe wirkt wie eine unbeabſichtigte aber unvermeidliche Laſtvermehrung.

3) Bezeichnen wir mit P die bewegende Kraft, mit Q die zu überwindende Laſt, ſo kann theoretiſch genommen zwiſchen P und Q jedes mögliche Verhältniß beſtehen; man könnte demnach durch jede einfache Maſchine den ſchwächſten Druck P in den ſtärkſten Druck Q verwandeln oder umgekehrt. Bezeichnet man ferner mit V die Geſchwindigkeit, welche man dem Angriffspunkte der Kraft giebt, und mit W die Geſchwindigkeit, die demzufolge der Angriffspunkt der Laſt annimmt, ſo kann ebenfalls theoretiſch genommen zwiſchen V und W jedes mögliche Verhältniß beſtehen; man könnte demnach durch jede einfache Maſchine die langſamſte Bewegung in die ſchnellſte verwandeln, oder umgekehrt die ſchnellſte Bewegung in die langſamſte. Die praktiſche Ausführung legt zwar dieſen Sätzen einige Beſchränkung auf, die aber in jeder nur wünſchenswerthen Weiſe durch Zuſammenſetzung mehrerer einfachen Maſchinen gemildert werden kann.

4) Die beiden Verhältniſſe P : Q und V : W ſind aber nicht unabhängig von einander, wählt man das eine willkürlich, ſo hat man das andere nicht mehr in ſeiner Willkür. Sieht man von der am Druckpunkte ſtattfindenden Reibung (Nr. 2) ab, ſo iſt das eine unſerer beiden Verhältniſſe die Umkehrung des anderen, ſo alſo, daß $PV = QW$ *) iſt. Nun nennt man das Product einer Kraft mit ihrer Geſchwindigkeit (d. h. der Geſchwindigkeit ihres Angriffspunktes) die Arbeit der Kraft für die Zeiteinheit, demnach bezeichnet PV die ſecundliche Arbeit der Kraft, QW die ſecundliche Arbeit der Laſt, und es folgt alſo, daß, ohne Rückſicht auf die unvermeidliche Reibung und andere Nebenhinderniſſe zu nehmen, bei allen einfachen Maſchinen die Arbeit der Kraft gleich der Arbeit der Laſt iſt.

5) Nun aber läßt ſich die Reibung nie umgehen, ſie darf alſo auch bei der Betrachtung der Maſchinengeſetze nicht fortgelaſſen werden, dazu kommt noch, daß meiſtens noch andere Hinderniſſe wie der Widerſtand der Luft und des Waſſers, die Steifheit der angewendeten Seile oder Riemen auftreten und dann wohl gemindert aber nicht beſeitigt werden können; deshalb kann jene Gleichung $PV = QW$ in der Wirklichkeit nie beſtehen. Von der gegebenen Kraft P muß ſich ein Theil, wenn auch nur ein kleiner, abzweigen, um jene Reibung zu überwinden, es bleibt alſo nur ein Theil von P übrig, etwa p, deſſen Arbeit pV ſich in die Arbeit der Laſt verwandeln kann, dieſe kann nun nicht mehr QW ſein, ſondern iſt etwa qW, ſo daß $q < Q$ iſt, daher iſt denn auch in allen Fällen $PV > qW$, d. h. die Arbeit der Laſt iſt ſtets kleiner als die Arbeit der Kraft. Es geht alſo eine Arbeit $(Q - q)W$ zur Ueberwindung der Hinderniſſe verloren, und dieſe Hinderniſſe entſprechen einer Laſtverminderung von $Q - q$. Die Laſt q, deren Ueberwindung beabſichtigt war, heißt Nutzlaſt, die Laſt $Q - q$, welcher die unvermeidlichen Nebenhinderniſſe entſprechen und welche wider unſeren Willen auftritt, heißt Nebenlaſt. Die Arbeit der Nutzlaſt heißt

*) Hierbei und im Folgenden wird vorausgeſetzt, daß die Geſchwindigkeiten der beiden Angriffspunkte in der Richtung der zugehörigen Kräfte liegen; ſollte das nicht der Fall ſein, ſo iſt unter V und W die jedesmalige Projection der Geſchwindigkeit auf die Kraftrichtung zu verſtehen.

Nutzeffect und in allen Fällen läßt ſich derſelbe in Procenten der von der Maſchine aufgenommenen Arbeit der bewegenden Kraft ausdrücken.

Wenden wir nun dieſe Sätze auf die zuſammengeſetzten Maſchinen an, ſo folgt, daß je mehr einfache Maſchinen ſich an einander reiben, deſto mehr auch die von der Maſchine aufgenommene Arbeit der Kraft ſich mindert und der Procentgehalt des Nutzeffectes kleiner wird. Die ganze Kunſt des Maſchinenbaues iſt nun darauf gerichtet, den größtmöglichſten Procentgehalt des Nutzeffects zu erzielen, und dazu giebt es nur zwei Wege: erſtens äußerſte Vereinfachung in der Zuſammenſetzung der Maſchinen, indem man nur ſo viel einfache Maſchinen mit einander verbindet, als zur Erzeugung der beabſichtigten Umwandlung der gegebenen Kraft unumgänglich nöthig ſind; und zweitens äußerſte Verminderung der Nebenlaſt; denn wenn gleich die Nebenhinderniſſe ſich auch nicht vollſtändig beſeitigen laſſen, ſo laſſen ſie ſich doch oft ſehr vermindern. Doch darf dieſe Verminderung nicht auf Koſten der Feſtigkeit und Dauerhaftigkeit geſchehen. Die beſſeren zuſammengeſetzten Maſchinen geben etwa 60 bis 75 Proc. Nutzeffect. Von hier aus überſieht man auch den Irrthum des mechaniſchen Aberglaubens an die Möglichkeit eines Perpetuum Mobile, als ob es möglich wäre durch beſonders künſtliche Verbindung der einfachen Maſchinentheile eine Maſchine zu conſtruiren, die ohne Kraft von Außen aufzunehmen, eine ununterbrochene Arbeit zu liefern vermöchte, oder wenigſtens nur in ununterbrochener Bewegung bleiben könnte. Denn wenn auch durch eine Maſchine eine kleine Kraft in einen großen Druck, oder eine langſame Geſchwindigkeit in eine ſehr ſchnelle verwandelt werden kann, ſo kann doch keine Maſchine ſich bewegen, ohne eine äußere Kraft aufzunehmen, und keine kann die aufgenommene Arbeit der Kraft unvermindert bewahren; denn ſo lange die Bewegung dauert, zehren die Nebenhinderniſſe von dieſer Arbeit, und jede Maſchine muß zum Stillſtand kommen, die nicht fortwährend oder von Zeit zu Zeit neue Arbeit von bewegenden Kräften in ſich aufnimmt.

Die Art der Zuſammenſetzung der Maſchinen kann nun ſehr verſchieden ſein; bei einigen Maſchinen ſoll nur eine Arbeit verrichtet werden, die von der Maſchine aufgenommene Kraft wird auf ein Ziel geleitet, und nur einzelne Theile derſelben werden zur Ueberwindung der Nebenhinderniſſe verwendet; hierher gehören die Aufzugs- und Fortbewegungsmaſchinen, welche nur die Laſt heben oder fortbewegen ſollen; andere Maſchinen ſollen zugleich mehrere Arbeiten verrichten, die meiſtens unter einander zuſammenhängen; ſo ſoll die Mahlmühle zuerſt das Getreide ſchroten, d. i. die Cohäſion der Körner überwinden, dann ſoll ſie aber auch das Mehl von der Kleie trennen, die Sägemühle ſoll nicht blos die Sägegatter zum Schneiden bewegen, ſondern ſie ſoll den Schlitten, auf welchem der Block liegt, gegen die Säge hinführen. Hier muß die urſprünglich einheitliche Kraft ſich theilen, um die verſchiedenen Arbeitsformen leiſten zu können.

Eine andere weſentliche Unterſcheidung der Maſchinen beſteht darin, daß die Wirkſamkeit der einen Art nicht an eine beſtimmte Geſchwindigkeit gebunden iſt, ſo daß ſie je nach Erfordern langſam oder ſchnell in Bewegung geſetzt werden und in ſolcher Bewegung ihre Dienſte leiſten können, oder ihre Wirkſamkeit iſt an eine beſtimmte Geſchwindigkeit gebunden. Zu der erſten Art gehören z. B. die Aufzugsmaſchinen, die eine langſame oder ſchnelle Bewegung annehmen können, ſie leiſten immer daſſelbe, d. h. ſie bewirken immer eine Umſetzung der Kraft oder eine Umſetzung der Geſchwindigkeit in ſtets ſich gleich

bleibenden Verhältniſſen. Iſt ein Krahn ſo eingerichtet, daß man mit einer Kraft an der Kurbel eine 40 mal ſchwerere Laſt heben kann, ſo wird man mit dieſer Maſchine bald ſchwere bald geringe Laſten heben können; man wird auch die aufſteigende Bewegung der Laſt bald ſchnell, bald langſam vor ſich gehen laſſen können, je nachdem man an der Kurbel mehr oder weniger Arbeiter wirken läßt.

Ein Beiſpiel der zweiten Art ſind die Waſſermühlen, hier iſt es nicht gleichgültig, mit welcher Geſchwindigkeit ſie ſich bewegen. Wollte ſich das oberſchlächtige Mühlrad zu langſam bewegen, ſo würde es nicht im Stande ſein, alles Mahlwaſſer in ſeine Zellen aufzunehmen, dieſe würden ſich überfüllen und ihr Waſſer größtentheils zu früh ausſchütten, auch könnte viel Waſſer über das gefüllte Rad weglaufen. Das zu ſchnell umgehende oberſchlächtige Rad würde nicht genug Waſſer in ſeine Zellen aufnehmen können, um einen großen Druck auf das innere Gangzeug auszuüben, auch würde es wegen der zu großen Centrifugalität das Waſſer zu früh verlieren. Deshalb iſt jedes oberſchlächtige Waſſerrad nicht blos für ein beſtimmtes Waſſerquantum, ſondern auch für eine beſtimmte Geſchwindigkeit von vornherein berechnet. Daſſelbe gilt von einem unterſchlächtigen Rade. Eben ſo iſt die Geſchwindigkeit des Mühlſteins nicht gleichgültig, ein zu langſam umgehender Läufer würde das Korn zwar zermalmen, aber das Schrot würde wegen zu geringer Centrifugalität nicht leicht die Mühlſteine verlaſſen, bei zu ſchnell gehenden Mühlſteinen würde das Mehl nicht gut ausfallen. Die erſte Art der Maſchinen, deren Wirkſamkeit nicht an eine beſtimmte Geſchwindigkeit gebunden iſt, könnte man *ſtatiſche* Maſchinen, die der zweiten Art *dynamiſche* Maſchinen nennen, da jene in der Statik, dieſe in der Dynamik (Lehre von der Bewegung) ihre theoretiſche Begründung finden.

Mit dieſer Unterſcheidung correſpondirt auch die Unterſcheidung des ſtatiſchen und des dynamiſchen Gleichgewichts an Maſchinen. *Gleichgewicht* überhaupt iſt der Zuſtand einer Maſchine, in welchem der Einfluß der Geſammtlaſt (Nutzlaſt und Nebenlaſt zuſammengenommen) auf die Bewegung der Maſchine ſo groß iſt als der Einfluß der bewegenden Kraft. Das *ſtatiſche* Gleichgewicht iſt ein Zuſtand der Ruhe, weil Kraft und Laſt, jede eine Bewegung hervorbringen wollen, die der Bewegung der anderen entgegengeſetzt iſt; ſo entſteht gar keine Bewegung, ſondern die Kräfte heben ſich gegenſeitig ſo auf, daß Ruhe eintritt. Eine Bewegung im Sinne der Kraft tritt nur dann ein, wenn ein gewiſſer Ueberſchuß von Kraft angewendet wird, und die Bewegung wird um ſo ſchneller vor ſich gehen, je größer dieſer Ueberſchuß iſt. Soll mit dem oben angeführten Krahn eine Laſt von 600 Pfund gehoben werden (Nutzlaſt) und beträgt die Nebenlaſt $^1/_3$ der Nutzlaſt, liefert alſo die Maſchine einen Nutzeffect von 75 Proc., ſo beträgt die Geſammtlaſt 800 Pfund; wird nun an der Kurbel ein Druck von $\frac{800}{40} = 20$ Pfd. ausgeübt, ſo wird der Druck der Kraft gleich dem Zuge der Laſt ſein und die Maſchine wird ſich nicht bewegen. Sie iſt aber im (ſtatiſchen) Gleichgewicht, und bei einer geringen Vermehrung dieſer Kraft, etwa auf 21 oder 22 Pfund, wird die Maſchine in Bewegung geſetzt und die Laſt gehoben, und zwar wird das Heben der Laſt bei einer Kraft von 22 Pfd. noch viel langſamer vor ſich gehen, als wenn die bewegende Kraft 25 Pfd. betrüge. Die Bewegung einer Maſchine tritt demnach ein durch Störung des ſtatiſchen Gleichgewichts, wenn der Druck

der bewegenden Kraft größer iſt als der Gegendruck der Geſammtlaſt. Bleibt nun der Ueberſchuß der bewegenden Kraft über die Laſt auch noch während der Bewegung, ſo muß er auf fortwährende Steigerung der Bewegung, auf Zunahme ihrer Geſchwindigkeit wirken. In den meiſten Fällen aber, oder ſtreng genommen in allen in der Wirklichkeit vorkommenden Fällen wachſen entweder die Widerſtände zugleich mit der Geſchwindigkeit, oder die treibende Kraft wird bei großer Geſchwindigkeit geringer; letzteres iſt ſtets bei der thieriſchen und menſchlichen Muskelkraft der Fall, erſteres immer bei dem Widerſtande, den die Luft, das Waſſer oder die Cohäſion feſter Stoffe der Bewegung entgegenſetzen. Iſt nun auch durch einen Ueberſchuß an bewegender Kraft das ſtatiſche Gleichgewicht geſtört und eine Bewegung eingetreten, ſo wird doch nie die Geſchwindigkeit dieſer Bewegung unbegrenzt zunehmen, ſondern es wird, und zwar meiſtens bald, durch Vermehrung der Hinderniſſe und Verminderung der Kraft jener Kraftüberſchuß ausgeglichen ſein, alsdann wird zwar die Bewegung nicht aufhören, wohl aber ihre Beſchleunigung; die Maſchine wird mit gleichförmiger Geſchwindigkeit fortgehen, ſo lange dieſes Verhältniß von Kraft und Laſt beſtehen bleibt.

Dieſes Verhältniß heißt nun das dynamiſche Gleichgewicht oder der Beharrungszuſtand der Maſchine. Um auch dieſen Punkt durch ein Beiſpiel zu erläutern, wollen wir uns wieder zu den Mahlmühlen wenden. Wird eine oberſchlächtige Mahlmühle angelaſſen, ſo füllen ſich bei der anfänglich langſamen Bewegung des Rades ſeine Zellen vollſtändig mit Waſſer, ſo daß ein großes Waſſergewicht an der vorderen Seite des Rades wirkt, gleichzeitig kommen aber wegen der anfänglich langſamen Bewegung des Läufers nur wenig Körner zwiſchen die Steine, üben alſo nur geringen Widerſtand aus. Der große Ueberſchuß an bewegender Kraft wird nun verwandt zur Beſchleunigung des Maſchinenganges, je ſchneller aber das Waſſerrad geht, deſto weniger Waſſer können die Zellen des Rades aufnehmen, deſto mehr Getreide wird aber zwiſchen die Steine kommen, die bewegende Kraft nimmt alſo ab, die Laſt nimmt zu, der Kraftüberſchuß wird bald aufhören und die Mühle wird dann ihren gleichmäßigen Gang angenommen haben.

Für alle die Maſchinen, die zu ihrer Arbeit einen gleichmäßigen Gang nothwendig erfordern, z. B. bei Spinnereien, iſt die Erhaltung des Beharrungszuſtandes eine Hauptbedingung. Dieſe Erhaltung iſt dort leicht zu erzielen, wo der gleichmäßig wirkenden Laſt auch eine gleichmäßig wirkende Kraft entgegentritt; wirkt aber die bewegende Kraft ungleichmäßig, etwa in Abſätzen wie die gewöhnlichen Dampfmaſchinen, bei welchen zwiſchen jeder Hubbewegung des Kolbens ein todter Punkt eintritt, ein momentanes Nichtwirken der Kraft, und bei denen auch während jedes einzelnen Hubes die Kraft nicht gleichmäßig wirkt, ſondern in der erſten Hälfte mit ſteigender Stärke, ſpäter mit abnehmender, ſo erfordert die Erhaltung des Beharrungszuſtandes beſondere Vorrichtungen. Das letztere iſt auch dann nöthig, wenn wohl die Kraft gleichmäßig wirkt, die Laſt aber bald ſtark, bald ſchwach zurückwirkt.

Die Hauptvorrichtungen zur Erhaltung des Beharrungszuſtandes der Maſchinen bei wechſelndem Verhältniß zwiſchen Kraft und Laſt ſind das Schwungrad und der Windkeſſel, letzterer iſt jedoch nur da anwendbar, wo es ſich um die Bewegung von Flüſſigkeiten handelt. Vorrichtungen zu dieſem Zweck heißen im Allgemeinen Regulatoren. Das Schwungrad, ein ſchweres Rad, deſſen

Maſſe ſo viel als möglich an ſeiner Peripherie angebracht wird, hindert eine zu ſchnelle Beſchleunigung der Maſchine bei vorhandenem Kraftüberſchuſſe, es vermag ſchon bei einer mäßigen Zunahme ſeiner Umdrehungsgeſchwindigkeit ein großes Quantum Arbeit des Kraftüberſchuſſes in ſich aufzunehmen; wird dann vorübergehend der Laſtwiderſtand der Maſchine größer als die Kraftwirkung, ſo wird ebenfalls keine zu ſchnelle Verminderung im gehemmten Maſchinengang eintreten, ſondern durch eine geringe Verminderung in der Umdrehungsgeſchwindigkeit des Schwungrades kann ſchon eine Zeitlang der Ausfall an bewegender Kraft gedeckt werden. So ſieht man denn das Schwungrad als einen Reſervoir von Arbeit an, in dem man zur Zeit des Kraftüberfluſſes Arbeit aufſparen kann, um ſie zur Zeit des Kraftmangels zu verwenden. So kommen Schwungräder vielfach vor bei der Krummzapfenbewegung, um die Nachtheile der todten Punkte zu vermeiden. Man kann auch durch ein Schwungrad ſehr große Unterſchiede zwiſchen der Kraft und Laſt ausgleichen, es läßt ſich in ihm die Arbeit einer kleinen bewegenden Kraft aufſpeichern, um auf kurze Zeit einen großen Widerſtand überwinden zu können. In dieſer Beziehung wird das Schwungrad namentlich bei Walzwerken angewendet; durch längere Wirkung der bewegenden Kraft wird ein ſchweres Schwungrad in eine zuletzt ſchnelle Bewegung geſetzt, um dann ſein Beharrungsvermögen zu benutzen und mittelſt der Preßwalzen einen bedeutenden Druck ſchnell auszuüben, was durch unmittelbare Anwendung der bewegenden Kraft nicht möglich geweſen wäre. Das Schwungrad kann die Wirkung der bewegenden Kraft ausgleichen und vertheilen, aber es ſelbſt giebt keinen Kraftzuſchuß, ja es ſchafft ſogar in ſeiner eigenen Zapfenreibung einen oft nicht unbedeutenden Widerſtand, weshalb es, auch abgeſehen von den Koſten der Herſtellung, räthlich iſt, das Schwungrad nicht größer zu machen als eben nothwendig iſt. Sollen Flüſſigkeiten gleichmäßig bewegt werden, ſo vertritt der Windkeſſel die Stelle des Schwungrades. So wirkt bei der gewöhnlichen Feuerſpritze die Kraft in Abſätzen, der Waſſerſtrahl ſoll aber ununterbrochen aus der Steigröhre fließen, deshalb wird das aus den Pumpenſtiefeln kommende Waſſer erſt in den Windkeſſel geleitet, in den es ſtoßweiſe eintritt, dadurch erleidet aber die Spannung der Luft in demſelben nur eine geringe, zugleich nur allmälig eintretende Aenderung; ſie vermag alſo im gewöhnlichen Gange der Maſchine mit ziemlich gleichmäßiger Kraft das Waſſer durch die Steigröhre hinauszutreiben.

Neben dieſen beiden allgemeinen Regulatoren giebt es für einzelne Maſchinen noch beſondere, deren Betrachtung ihrer beſonderen Natur wegen nicht hierher gehört; dahin gehören z. B. das Schneckenrad in den älteren Taſchenuhren, der Spiralkorb bei gewiſſen Förderungsmaſchinen, der Centrifugalregulator der Dampfmaſchinen.

Zu Erhaltung des Beharrungszuſtandes einer Maſchine, beſonders auch um Kraftverluſte zu vermeiden, dient auch die Vorſicht, welche ſo viel als möglich Stöße bei den Maſchinen vermeidet. Stöße ſind immer von einer plötzlichen Geſchwindigkeitsänderung entweder des ſtoßenden, oder des geſtoßenen Körpers, oder beider begleitet und nehmen die Feſtigkeit der Maſchinentheile weit mehr in Anſpruch als ein gewöhnlicher gleichmäßig wirkender Druck. Mit einem Stoße unelaſtiſcher Körper iſt aber immer ein Verluſt an lebendiger Kraft verbunden, ſo daß die Stöße ſo viel als möglich zu beſeitigen ſind. Bei mangelhaft ausgeführter Verzahnung der Räder, wenn die Zahnköpfe des einen Rades zu viel Spielraum

haben in den Zahnhöhlungen des anderen, treten bei einer Veränderung im Verhältniſſe von Kraft und Laſt leicht Stöße ein, die oft zum Abbrechen einzelner Zähne, immer aber zur Störung im gleichmäßigen Gange der Maſchine und zu Verluſten an Kraft führen.

Nicht alle Maſchinen haben einen Beharrungszuſtand, nämlich diejenigen nicht, deren ganze Thätigkeit periodiſch vor ſich geht, wie z. B. Stampf- und Hammerwerke. Hat man aber zur Verfolgung eines und deſſelben Zwecks zwiſchen einer Einrichtung mit gleichmäßiger und einer mit abſetzender periodiſcher Wirkung zu wählen, ſo iſt die erſtere immer vorzuziehen. So iſt, wenn ſonſt nicht andere Verhältniſſe maßgebend ſind, eine Kreisſäge einer Säge mit hin und her gehendem Sägegatter, ein Quetſch- und Walzwerk einem Stampf- und Hammerwerke vorzuziehen; denn Maſchinen mit continuirlicher Wirkſamkeit ſind verhältnißmäßig dauerhafter und ökonomiſcher in Vertheilung und Bewahrung der Kraft.

Sieht man auf den Aggregationszuſtand der Körper, deren Kräfte auf die Bewegung der Maſchine einwirken, oder auf welche die Maſchine einwirkt, je nachdem dieſelben ſtarr, flüſſig oder luftförmig ſind, ſo theilen ſich die Maſchinen in *geomechaniſche*, *hydrauliſche* und *pneumatiſche*; eine Eintheilung, die weiter keiner Erläuterung bedarf.

Sehr gebräuchlich iſt noch die Eintheilung der Theile einer zuſammengeſetzten Maſchine in aufnehmende (Motoren), fortpflanzende (Zwiſchenmaſchinen, Vorgelege) und arbeitende, (Arbeitsmaſchinen). Die erſten nehmen die bewegenden Kräfte auf, die anderen leiten ſie weiter und ſetzen ſie um und die dritten verrichten die beſondere durch die Maſchine beabſichtigte Arbeit.

Die aufnehmenden Maſchinentheile führen nur uneigentlich den Namen Motoren (Beweger), da *nicht* ſie, ſondern die durch ſie aufgenommenen Kräfte bewegen. Nach der Natur dieſer Kräfte ſind ſie ſelbſt verſchieden. Hierher gehören die Kurbel und ihre Stellvertretungen für die Muskelkraft der Menſchen, der Göpel für die Zugkraft der Thiere, die Tretſcheibe und das Tretrad, wenn das Gewicht lebender Weſen die bewegende Kraft ſein ſoll, eine Welle mit Seil für Zuggewichte, wie bei den Thurmuhren, Federtrommeln für geſpannte Federn, wie bei den Taſchenuhren, die Waſſerräder für den Druck und den Stoß des Waſſers, Dampfcylinder für die Elaſticität heißer Waſſerdämpfe u. a. m.

Die Zwiſchenmaſchinen ſollen nicht blos die von den Motoren aufgenommene Kraft weiterführen, wie z. B. die Wellen und die horizontalen und verticalen Geſtänge, damit die aufgenommene Kraft an einem abgelegenen Orte zur Wirkſamkeit komme, ſondern ſie ſollen auch die Bewegungen umſetzen, d. h. eine durch die Natur des Motors gegebene Bewegung in eine andere von veränderter Geſchwindigkeit oder veränderter Bewegungsart verwandeln. Bewegungsarten unterſcheidet man vier, die continuirlich und die periodiſch geradlinige, und die continuirliche und die periodiſche Drehbewegung; jede muß in eine andere derſelben Art oder einer anderen Art umgewandelt werden können. Die continuirlich geradlinige Bewegung wird in eine andere umgeſetzt durch Leitungsrollen, überhaupt durch Rollen- und Flaſchenzüge, durch das Wellenrad mit doppelter Seilführung, durch Walzen. Zur Umwandlung der continuirlich geradlinigen Bewegung in eine continuirliche Drehbewegung und umgekehrt, dient das Seilrad, indem der Endpunkt des Seils eine geradlinige Bewegung annimmt, das Rad mit der Welle aber eine Drehbewegung beſitzt, eben ſo gehört hierher das in

eine Zahnſtange eingreifende Stirnrad, ſo wie die Schraube; letztere dient beſonders dazu, eine ſchnelle Drehbewegung in eine langſame fortſchreitende Bewegung umzuwandeln. Zur Umwandlung einer continuirlichen Drehbewegung in eine andere dienen vorzüglich die Zahnräder und die verwandten Riemenſcheiben, Frictions- und Keilräder. Soll eine ſchnelle Drehbewegung in eine recht langſame umgewandelt werden, ſo leiſtet die Schraube ohne Ende mit dem Schneckenrad recht gute Dienſte. Zur Umwandlung einer continuirlichen Drehbewegung in eine hin und her gehende Drehbewegung oder eine ſolche geradlinige Bewegung oder umgekehrt wendet man den Krummzapfen mit der Bläuelſtange oder das Excentrik mit dem Schubrechen an. So werden von der Schwungradswelle der Dampfmaſchine die Steuerſchieber hin und her bewegt, und an der Drehbank verwandelt ſich ſo die oscillirende Bewegung des Trittes in die continuirliche des Schwungrades. Auch die Hebedaumen an der Daumenwelle können hierher gerechnet werden. Eine oscillirende Bewegung läßt ſich in eine fortgeſetzte Drehbewegung umwandeln durch den Schiebehaken, der in die ſägeartig geſtalteten Zähne eines Rades eingreift, und dieſes Rad bei jeder Oscillation um einen Zahn fortſtößt. Die Umwandlung einer geradlinig hin und her gehenden Bewegung in eine oscillirende, wie ſie am häufigſten bei Dampfmaſchinen vorkommt, wo die auf und nieder gehende Bewegung der Kolbenſtange die oscillirende des Balanciers hervorbringt, wird am beſten durch das Watt'ſche Parallelogramm ausgeführt.

Das Gebiet der aufnehmenden und fortpflanzenden Maſchinen läßt ſich im gewiſſen Sinne als abgeſchloſſen bezeichnen; obwohl die hierher gehörenden Vorrichtungen der Verbeſſerung recht wohl zugänglich ſind, auch die Aufſtellung des einen oder des anderen neuen Motors vielleicht der Zukunft noch vorbehalten iſt, ſo wird doch dieſes Gebiet nach der Art der arbeitenden Naturkräfte und der Art der Bewegungsumwandlung ſich einfach gliedern und leicht überſehbar bleiben.

Anders verhält es ſich mit den Arbeitsmaſchinen. So mannichfach die Wünſche der Menſchen ſind, ſtoffliche Dinge nach Geſtalt, Lage und Zuſammenſetzung umgeſtaltet zu ſehen, ſo mannichfaltig können auch die Arbeitsmaſchinen ſein. Von den Hammer und Walzwerken und den Schneidemühlen an bis zu den Spinn-, Web-, Näh- und Stickmaſchinen und zu den Maſchinen für die landwirthſchaftlichen Arbeiten und die Umwandlung der Lumpen in Papier, von den einfachen Hebezeugen bis zu den Locomotiven und Dampfſchiffen herrſcht hier eine unendliche Mannichfaltigkeit, ein unerſchöpftes und unerſchöpfbares Gebiet für den menſchlichen Scharfſinn. So verſchieden aber dieſe Maſchinen in ihren arbeitenden Theilen auch ſind; ſo ſtehen ſie doch mit den aufnehmenden und fortpflanzenden Maſchinen auf demſelben Boden, indem ihnen allen die oben angeführten ſechs einfachen Maſchinen zum Grunde liegen, und die allgemeinen Geſetze derſelben von allen gelten. Erfindungen auf dieſem Gebiete werden wohl ſchwerlich, wie noch ſo Manche glauben, durch ein hin und her taſtendes Probiren gemacht werden, dazu ſind die Wege hier ſchon zu viel betreten, ſondern mehr als anderswo bedarf hier der geniale Sinn, der mit Beharrlichkeit das Neue ſucht, der Kenntniß des Einzelnen, wenn er ſeine Anſtrengung mit Erfolg gekrönt ſehen will. W. S.

Maß (mensura, mesure, measure) heißt jede Größe, die bei der Vergleichung mit einer anderen gleichartigen als Einheit angenommen wird. In

dieſem allgemeinen, rein mathematiſchen Sinne kann von zwei beliebigen Größen derſelben Art jede als Maß der andern angeſehen werden, denn jede kann auf die andere als ihre Einheit bezogen werden. Die aus der Vergleichung der beiden Größen ſich ergebende Verhältnißzahl heißt Maßzahl, dieſe giebt eine beſtimmte Vorſtellung von der gemeſſenen Größe erſt dann, wenn die Maßeinheit bekannt iſt; ſoll aber die Maßzahl allein ausreichen, die Größe eines Gegenſtandes anzugeben und ſollen wiederum verſchiedene Meſſungen unter ſich vergleichbar ſein, ſelbſt wenn ſie an verſchiedenen Orten und zu verſchiedenen Zeiten vorgenommen werden, ſo iſt das nur dann möglich, wenn die Maßeinheit eine allgemein bekannte und feſt beſtimmte iſt. Daher verſteht man unter Maß im engeren Sinne *eine durch Uebereinkunft feſtgeſtellte und beſtimmte Größe, die bei der Vergleichung anderer Größen derſelben Art als Einheit angenommen wird.*

So viel Arten von Größen es giebt, ſo viel verſchiedene Arten von Maßen muß es geben, denn alles, was groß iſt, unterliegt der Vergleichung, dem Meſſen. Es können die Raumgrößen und die Zeitgrößen, die Maſſen und Gewichte der Körper, die mechaniſchen Kräfte wie die phyſikaliſchen Zuſtände, ſo weit ſie quantitativ ſind, es können ſelbſt rein ſubjective Größen, wie die Werthe, die man den Dingen beilegt, gemeſſen werden. Obwohl nun allen dieſen Arten der Meſſung auch Maße zum Grunde liegen, ſo verſteht man in einer noch weiter gehenden Beſchränkung des Begriffs unter Maß vorzugsweiſe die beim Meſſen räumlicher Gegenſtände conventionell zu Grunde gelegten Einheiten. In dieſer Beſchränkung wollen wir uns hier näher auf dieſen Gegenſtand einlaſſen und daran wegen ihrer inneren Verwandtſchaft zu den räumlichen Maßen die Maße für den Druck der Schwere in den materiellen Körpern, oder die Gewichtseinheiten anreihen.

Zwei Eigenthümlichkeiten ſind alſo am Maß hervorzuheben. Erſtens ſeine conventionelle Annahme als Einheit, und zweitens ſeine genaue Beſtimmung und Feſtſtellung. Je weniger in der Natur des Gegenſtandes eine Maßeinheit gegeben iſt, wie es z. B. bei der Meſſung der Zeit nach Tagen der Fall iſt, deſto mehr muß eine ſolche durch Convention feſtgeſtellt werden. Da nun die Convention immer nur diejenige Menſchenmenge umfaſſen wird, die durch ihren Verkehr in die Lage kommen, ein Bedürfniß nach einer Uebereinkunft zu haben, ſo werden in derſelben Zeit in verſchiedenen Gegenden verſchiedene ſolcher Uebereinkommen beſtehen, verſchiedene Maßeinheiten derſelben Art vorkommen, und ſolche verſchiedene Maßeinheiten werden in um ſo größerer Zahl neben einander vorkommen, je mehr die menſchliche Geſellſchaft in kleinere ſelbſtſtändigere Geſellſchaftskreiſe zerfällt; je mehr aber der Verkehr wächſt, deſto mehr wird das Bedürfniß nach Ausgleichung dieſer Verſchiedenheiten und Herſtellung gemeinſchaftlicher Maße zunehmen. So hatten noch bis in neuere Zeiten hinein die früher ſelbſtſtändigen Städte und kleinen Länder Deutſchlands und Italiens ihr eigenes Maß- und Gewichtsſyſtem und erſt der neueren Zeit iſt es mit vieler Mühe gelungen, hierin eine größere Uebereinſtimmung anzubahnen.

Die genaue Normirung der Maße iſt einerſeits eine Folge des erweiterten Verkehrs, der zwiſchen den verſchiedenen Maßeinheiten genaue Vergleichungszahlen verlangte, andererſeits aber Folge der fortgeſchrittenen Wiſſenſchaft, durch die es erſt möglich war, die Größe eines Gegenſtandes unabhängig von ſtörenden Ein-

flüssen festzustellen. Da somit die Maße sich abhängig zeigen von den Gestaltungen des Völkerlebens und den Fortschritten der Wissenschaft, so gehören sie selbst der Geschichte an, und es wird hier der Ort sein, auf das Geschichtliche einen übersichtlichen Blick zu werfen.

Die Maße der alten Völker. Ueber die wirkliche Länge der dem Namen nach bekannten Maße der Alten lassen sich nicht überall mit Genauigkeit sichere Angaben machen, da theils Maßeinheiten, die denselben Namen führen, an verschiedenen Orten eine verschiedene Größe hatten, theils auch die Angaben der alten Schriftsteller über gemessene Größen meist nur in runden Zahlen gemacht sind. Die ältesten bekannten Maße sind die ägyptischen, wie es ja auch mehr als wahrscheinlich ist, daß die Cultur der alten historischen Völker ihren Ausgang von Aegypten aus genommen hat. Der griechische Name mehrerer ägyptischer Längenmaße führt auf die Vermuthung, daß die ersten Maße von der Größe einzelner Theile des menschlichen Körpers hergenommen sind So war die Orgye (von ὀρέγω, ausspannen) eine Länge von 5,69 Fuß Par. und gab die Weite der ausgespannten Arme an, andere Maße waren die Bema oder Schritt, die Pechys oder Elle, der Fuß, die Spithame oder Spanne, die Palme (Handbreite) und der Dactylus (Fingerbreite). Da aber παλάμη auch das Blatt und δάκτυλος die Frucht der Dattelpalme bezeichnet, so hat man auch die Meinung gehegt, daß das Grundmaß von der Dattelfrucht hergenommen sei, indem 6 neben einander gelegte Datteln eine Palme gebildet hätten. Diesen beiden Ansichten steht eine dritte gegenüber, welche behauptet, die Aegypter hätten ihr Grundmaß von einer Messung eines Meridiangrades hergenommen, französische Gelehrte aus der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts, wie Paucton, Romé de l'Isle, Jomard suchten diese Ansicht zu rechtfertigen. Es soll nämlich die Basisseite der großen Pyramide bei dem ehemaligen Memphis genau der 480ste Theil eines Meridiangrades in Aegypten sein, eben so soll die heilige Elle des Nilmessers der 200000ste und das Stadium zu Laodicea der 500ste Theil eines solchen Meridiangrades sein. Wenn gleich nun den alten Aegyptern ein hoher Grad mathematischer und astronomischer Bildung nicht abgesprochen werden soll, bleibt es doch immer noch sehr fraglich, ob ihre Kenntnisse so weit reichten, einen Meridiangrad mit hinreichender Genauigkeit zu messen; außerdem wird die Thatsache einer solchen Messung nirgends erwähnt.

Die Unterabtheilung der Maße nach der Zahl 12 kommt ebenfalls schon in Aegypten vor und ist von da durch Griechenland und Rom dem Abendlande vermittelt. Der zunächst liegende Grund für diese Eintheilung möchte in ihrer Bequemlichkeit liegen, denn da die 12 als Factoren die Zahlen 2, 3, 4 enthält, so ist mit der Theilung in 12 Theile zugleich die im Geschäftsleben so vielfach vorkommende Halbirung, Drei- und Viertheilung gegeben. Die bei dem neueren französischen Maße zur Anwendung gekommene Eintheilung in 10 Theile ist rein wissenschaftlichen Ursprungs und hat mehr den Anschluß an das einmal gebräuchliche Zahlensystem und die Bequemlichkeit des schriftlichen Rechnens als die Bequemlichkeit des öffentlichen, namentlich des kleinen Verkehrs im Auge. Da, wo die Zwölftheilung sonst noch seit langer Zeit vorkommt, wie in der Eintheilung des Thierkreises in die zwölf Bilder und die Eintheilung der Tageshälfte in zwölf Stunden, liegt vielleicht auch die große Uebersichtlichkeit zu Grunde, die diese Eintheilung gewährt, wenn gleich bei jener astronomischen Eintheilung das

angenäherte Verhältniß des ſynodiſchen Monats zum Sonnen-Jahr von Einfluß geweſen ſein kann. Der wahre Grund dieſer Eintheilungen iſt unbekannt. Bei der großen Rolle, welche die Zahl 7 bei ägyptiſchen Bauwerken ſpielt, kann es nicht auffallen, wenn die Siebentheilung trotz ihrer Unbequemlichkeit vorkommen ſollte. So ſollen nun auch nach Girard (Mem. de l'Acad. des Scienc. T. IX. p. 591) alte ägyptiſche Ellen aufgefunden ſein, die ſämmtlich in 7 Palmen zu 4 Finger getheilt ſind.

Die alten Araber ſcheinen viele Maße mit den Aegyptern gemein gehabt zu haben. Als Grundmaß wird die Ausdehnung von 6 neben einander gelegten getrockneten Gerſtenkörnern angeführt, welche Ausdehnung 27 mal genommen, die Länge der Elle gegeben haben ſoll. Die Griechen haben ihre Maße größtentheils den Aegyptern entlehnt, die Römer hatten jedoch, als ſie mit den öſtlichen Culturvölkern in Berührung kamen, ſchon ihr ausgebildetes Maßſyſtem, an welches ſich erſt ſpäter die fremden Maße anſchloſſen. Dem beſonders auf die ſorgfältige Entwickelung und Pflege aller Rechtsverhältniſſe zugewandten Sinne der Römer entſpricht auch die Sorgfalt, die ſie auf Beibehaltung der genauen Länge ihrer Maße gerichtet haben. Deshalb iſt es auch möglich geweſen, die Länge des römiſchen Fußes mit großer Genauigkeit wieder aufzufinden. Auf dem Capitol finden ſich noch 4 Etalons, die im Mittel für den römiſchen Fuß die Länge von 0,2959 Meter oder 131,14 Par. Linien geben, hiermit ſtimmt auch das Reſultat aus der Meſſung noch vorhandener römiſcher Meilen, auch der auf dem Grabe des Statilius eingehauene Fuß hat genau dieſe Länge. Sechs in Herculanum aufgefundene Etalons geben aber im Mittel nur die Länge 0,2945 Meter.

Die Wiederauffindung der alten Gewichte iſt der Natur des Gegenſtandes nach mit viel größeren Schwierigkeiten verknüpft, als es mit der Feſtſtellung der alten Maße der Fall geweſen iſt. Am einfachſten würde man die Gewichte aus den alten Münzen ableiten können, wenn nicht in den älteren Zeiten das Gewicht der Münzen ſehr veränderlich geweſen wäre, ſo daß die Münzen meiſtens weniger Metall enthielten, als ſie hätten enthalten müſſen. Deshalb ſind die aufgeſtellten Vergleichszahlen hier auch weniger ſicher, als bei den Raummaßen.

Die wichtigſten älteren Maße und Gewichte wollen wir in nachfolgender Ueberſicht zuſammenſtellen.

1) Aegypten:

a) Längenmaße. 1 Orgyie = $2^2/_3$ Pema (Schritt) = 4 Pechys (Elle) = 6 Fuß = 8 Spithamen (Spanne) = 12 Dichas = 24 Palmen (Handbreite) = 96 Dactylus (Fingerbreite). — 1 Acäna (Ruthe) = 10 Fuß, 1 Plethrum = 10 Ruthen, 1 Stadium = 6 Plethra = 60 Ruthen, 1 Meile = 3000 Ellen, 1 Paraſange (urſprünglich perſiſch) = 4 Meilen, 1 großer Schönus = 8 Meilen = 24000 Ellen. Der gewöhnliche Schönus war etwas größer als die Paraſange.

Vergleichung: 1 Orgyie = 1,847 Meter frz.

b) Flächenmaße. 1 Arura = 10000 Quadrat-Ellen; 1 Stadium = 100 Schönus = 10000 Ruthen.

2) Paläſtina. 1 Ruthe (Kaneh) = 3 Schritt (Bema; Peſiah) = 6 Ellen = 9 Fuß (Seraïm) = 36 Palmen = 72 Doppelzoll (Sitah) = 144 Zoll (Ezbah).

1 Meile (Sabbathsweg, Kiberath) = 1000 Schritt (= $7^1/_2$ ägyptische Stadien); 1 Tagereise (= 200 ägypt. Stadien) = $26^2/_3$ Meilen.

Vergleichung: 1 Schritt = 1,108 Meter.

3) Griechenland:

a) Längenmaße. 1 Elle (Pechys) = $1^1/_2$ Fuß = 2 Spithamen = 3 Dichas = 6 Palmen = 12 Zoll (Kondylos) = 24 Dactylos.

Vergleichung: 1 Elle = 1 ägyptische Elle = 0,4618 Meter.

Stadien a) das der Ptolemäer = 221,67 Meter, b) das des Cleomenes = 166,25 M., c) das des Eratosthenes und Hipparch = $^1/_{700}$ Erdgrad = 158,33 M., d) das asiatische = 147,78 Meter, e) das des Archimedes (400 mal im Umfange von Babylon enthalten) = 133 Meter, f) das kleine ägyptische, am häufigsten gebraucht, = 99,75 Meter, g) das philetärische oder königliche = 600 philetärischen Fußen = 210,14 Meter.

1 Dolichus = 12 Stadien = 2216,66 Meter.

b) Flächenmaße. Zum Ausmessen der Flächen gebrauchte man das Plethrum = 100 gr. Fuß, das Sokarion, für Wiesengrund = 72, für Ackergrund = 60 gr. Fuß und den Dekapus = 10 gr. Fuß.

c) Hohlmaße. Für trockne Sachen: 1 Medimne = $1^1/_3$ Metreta = 6 Hekteen = 12 Hemihekteen = 48 Chönix = 96 Xestes.

Vergleichung: 1 Medimne = 2268 franz. Kubik-Zoll.

Für Flüssigkeiten: 1 Kadus oder Diota (für 90 Pfund Flüssigkeit) = 2 Amphoren (Chus, röm. Congius). 1 Xestes oder Sextarius (für 1 Pfund 3 Unzen Flüssigkeit) = 2 Kotylen = 4 Viertel = 8 Oxybaphien = 12 Becher (Kyathos) = 24 Konchen = 48 Löffel (Mystren) = 60 Chemen.

d) Gewichte. 1 Talent = 60 Minen, 1 Mine = 100 Drachmen, 1 Drachme = 6 Obolen = 36 Chalken.

Vergleichung. Das Talent a) das attische, korinthische = 54 Pfund 11 Unzen franz. Gr., b) das kleine attische = 41 Pfund 2 gros, c) das äginetische = 91 Pfd. 2 U. 2 gros 48 gns., d) das alexandrinische = 82 Pfd. 4 gr., e) das von Rhegium = 68 Pfd. 5 Unz. 6 gros, f) das italienische = 65 Pfd. 10 Unz., g) das babylonische = 47 Pfd. 13 Unz. 5 gros, h) das ägyptische oder rhodische = 27 Pfd. 5 Unz. 4 gr., i) das syrische oder ptolemäische = 13 Pfd. 10 Unz. 6 gros.

Ferner kommen vor: 1 Gramm oder Skrupel = 3 Lupinen = 6 Siliquen = $^1/_{24}$ römische Unze.

4) Rom.

a) Längenmaße. 1 Fuß = 4 Palmen = 12 Zoll = 16 Finger (Digitus).

1 Meile = 1000 Schritt = 5000 Fuß.

1 Elle = $1^1/_2$ Fuß. 1 Palmipes (Fuß und Handbreite) = $1^1/_4$ Fuß.

1 Ruthe (Pertica) = 10 Fuß.

1 Reise (iter pedestre) = $18^3/_4$ röm. Meilen.

Vergleichung: 1 Fuß = 0,2959 Meter.

b) Flächenmaße. 1 Juchert (jugerum) = 28800 röm. Quadratfuß.

c) Hohlmaße. Für trockne Sachen: 1 Modius (Scheffel) = 16 Sextarien (Scheffel) = 432 Par. Kubikzoll.
Für Flüssigkeiten: 1 Culeus (Fuder) = 20 Amphoren (Eimer). 1 Amphora (= 1 röm. Kubikfuß) = 2 Urnen = 8 Congien = 48 Sextarien; 1 Sextarius = 2 Hälften (Hemina) = 4 Viertel = 8 Acetabula = 12 Becher = 48 Löffel (Ligula).
Vergleichung: 1 Amphore = 1296 Par. Kubikzoll.

d) Gewichte. 1 Talent oder Centumpondium = 100 röm. Pfund.
1 As (Libra, Pfund) = 12 Unzen = 48 Denare = 288 Skrupel, 1 Skrupel = 3 Luginen = 6 Siliquen. Außerdem kommen vor: Deunx = 11 Unzen, Decuncis = 10 Unzen, Dodrans = 9 Unzen, Bes (bis trieus) = 8 Unzen, Septunx = 7 Unzen, Semis = 6 Unzen, Quincunx = 5 Unzen, Triens = $^1/_3$ As = 4 Unzen, Quadrans = = 3 Unzen, Sextanz = 2 Unzen.
Vergleichung: 1 As = 10 Unzen 4 gros franz. Gew.

Neuere Maße. Bei den meisten neueren Völkern ist der Fuß die Grundlage für ihre Längenmaße gewesen, ob diese Bezeichnungen sich von den alten Völkern auf die neueren übertragen hat, oder nicht, mag dahingestellt bleiben, da es recht wohl denkbar ist, daß mehrere Völker ursprünglich auf diese Annahme haben kommen können. Thatsache ist aber, daß nicht nur zwischen verschiedenen Ländern, ja sogar zwischen verschiedenen Städten ein Unterschied in der Größe ihrer Maßeinheit bestanden hat, sondern daß die Fußlänge an demselben Orte im Laufe der Zeit Schwankungen unterworfen gewesen ist. Wenn nun in Folge des Verkehrs das Bedürfniß nach einem gemeinschaftlichen Maße eintrat, mindestens aber nach fester Normirung des bereits vorhandenen, so lag der Wunsch nahe, die Maßeinheit so festzustellen, daß sie immer von neuem könnte wieder hergestellt werden, wenn sie etwa verloren gehen sollte. Zu dem Ende mußte man auf der Erde eine unveränderliche Länge suchen, um von ihr die Maßeinheit abzuleiten. Als solche unveränderliche Länge schlug Huyghens im Jahr 1664 die Länge des einfachen Secundenpendels vor, nachdem von ihm selbst zuvor erst die Theorie des Pendels aufgestellt war; da nun das einfache Secundenpendel etwas über 3 Par. Fuß lang ist, so sollte von jener Pendellänge der dritte Theil genommen und Fundamental-Fuß oder Zeitfuß genannt werden. Dieser Vorschlag, der so naheliegend war und so einfach die Aufgabe löste, wurde von den damaligen Physikern willig aufgenommen, obwohl man anfangs noch nicht wußte, daß das einfache Secundenpendel nicht überall auf der Erde dieselbe Länge hat; als aber auch Richer's Beobachtungen in Cayenne bekannt wurden, aus denen folgte, daß die Länge des einfachen Secundenpendels nach der geographischen Breite verschieden ist, behielt doch Huyghens Vorschlag seine praktische Bedeutung, man hatte nur nöthig einen bestimmten Breitengrad der Erde zu nehmen, etwa den 45sten oder den Aequator selbst, und auf diesen die Länge des als Normalmaß dienenden Secundenpendels zu reduciren. Nach Bouguer beträgt auf dem Aequator die Länge des einfachen Secundenpendels 439,21 Par. Linien, hiernach würde denn die Länge des Fundamentalfußes 146,40 Par. Linien betragen haben. Dieser Fundamentalfuß ist zwar nicht zur allgemeinen Anwendung gekommen, doch ist man in England wiederholt bei der Fixirung der landesüblichen Maße auf die Länge des einfachen Secundenpendels vergleichend zurückgegangen.

Eine zweite unveränderliche Größe, von welcher die Maßeinheit abgeleitet werden konnte, iſt die Erde ſelbſt. Den erſten Vorſchlag, die Länge der Maßeinheit von der Länge des Meridians abzuleiten, machte der Aſtronom Gabriel Mouton in Lyon, ein Zeitgenoſſe des Huygbens. Die Einheit ſollte die Länge eines Meridianbogens von einer Minute ſein und Meile (milliare) genannt werden, die Unterabtheilungen ſollten nach der Zehntheilung gebildet werden und lateiniſche Namen führen. Damals war die elliptiſche Geſtalt der Erde noch nicht bekannt, und es ſchien alſo die Meſſung irgend eines beliebigen Meridiangrades ausreichend, um jenes Grundmaß zu finden. Mouton's Vorſchlag blieb aber über hundert Jahr unbeachtet, bis in Frankreich das Bedürfniß einer allgemeinen Landesvermeſſung auf die Regulirung des Maßſyſtems die Aufmerkſamkeit lenkte. Bei der im Jahre 1789 ſtattgefundenen franzöſiſchen Deputirtenwahl hatten mehrere franzöſiſche Städte, darunter Paris, Lyon, Orleans, Rheims u. a. auf Herſtellung eines allgemeinen Maßes petitionirt. Talleyrand-Perigord brachte 1790 dieſe Petitionen vor die Nationalverſammlung, und dieſe beſchloß, den König zu bitten, daß er in Gemeinſchaft mit dem König von England durch Commiſſarien der franzöſiſchen Akademie und der königlichen Societät zu London unter dem 45ſten Grad nördlicher Breite oder ſonſt wo die Länge des einfachen Secundenpendels beſtimmen laſſe, um dieſe Länge einem unveränderlichen Maßſyſteme zu Grunde zu legen. Zugleich wurde von der Akademie ein Gutachten gefordert, welches im März 1791 durch die dazu ernannten Commiſſarien De Borda, La Grange, La Place, Mange und Condorcet überreicht wurde. Dieſes Gutachten verwarf die Zugrundelegung des einfachen Secundenpendels für den gedachten Zweck, weil daſſelbe bedingt ſei einerſeits durch die Zeit, andererſeits durch die willkürliche Eintheilung derſelben in Secunden, zugleich ſei es unnatürlich die Maßeinheit von der kurzen Pendellänge herzunehmen, da man doch auf der Erde Entfernungen im Großen zu meſſen habe. Das Gutachten ſchlug nun vor, das Normalmaß von einem Erdquadranten herzunehmen. Der Meridianquadrant ſei dem Aequatorquadranten vorzuziehen, weil die Meridiangrade ſich viel leichter und ſicherer meſſen ließen als die Aequatorialgrade, und weil auch jeder Erdbewohner unter einem Meridian wohne. Man ſolle daher einen Meridianbogen von Dünkirchen bis Barcellona meſſen, daraus die Länge des Meridianquadranten berechnen und den zehnmillionenſten Theil davon als Einheit nehmen. Die Unterabtheilungen ſollten nun nach der Dekadik genommen werden, weil alle anderen Eintheilungen willkürlich wären. Die Gewichtseinheit könne aus dem Gewichte eines beſtimmten Volumens Waſſer entweder von der Temperatur des aufthauenden Eiſes oder von der größten Dichtigkeit abgeleitet werden. Die Anträge dieſes Gutachtens wurden angenommen, die gleichzeitig empfohlenen Pendelbeobachtungen wurden im Juni 1792 von Caſſini und De Borda und die Gradmeſſungen von Mechain und Delambre begonnen. Die im Laufe der Revolution eingetretene Auflöſung der Akademie unterbrach zwar dieſe Arbeiten, doch wurde ihre Fortſetzung wieder auf Grund beſonderer Geſetze aufgenommen, thätig waren dabei Berthollet, Borda, Briſſon, Coulomb, Delambre, Hauy, Lagrange, Laplace, Mechain, Mange, Prony und Vandremonde. Da die genaue Ausführung der Arbeit vorausſichtlich längere Zeit in Anſpruch nehmen mußte, ſo wurde am 18. Germinal des Jahres III die Länge des Meters als der zehnmillionenſte Theil des Meridianquadranten vor-

läufig zu 443,443 Par. Linien durch Geſetz angenommen. Aus der Geſammtheit der Meſſungen ſelbſt berechnete Van Swinden die wirkliche Länge des Meters zu 443,2959942 bis 443,296 Par. Linien, dagegen fielen die Reſultate der Rechnung Delambre's um 0,032 Linien größer aus, durch Decret vom 19. Frimaire des Jahres VIII wurde jener kleinere Werth angenommen und beſtimmt, daß das Meter die Länge einer Metallſtange haben ſolle, die bei 0° C. nach dem altfranzöſiſchen Maße 443,296 Linien meſſe. Zur Bezeichnung der Vielfachen und der Unterabtheilungen des Meters wurde ebenfalls nach Van Swindens Vorſchlag angenommen, die Vielfachen des Meters durch Vorſetzung griechiſcher Zahlwörter und die Unterabtheilungen durch Vorſetzung lateiniſcher Zahlwörter zu bezeichnen. Demnach bedeutet Myriameter 10000 Meter, eben ſo bedeuten Kilometer, Hektometer, Dekameter bezüglich 1000, 100 und 10 Meter und Decimeter, Centimeter, Millimeter bedeuten bezüglich $^1/_{10}$, $^1/_{100}$ und $^1/_{1000}$ Meter.

Für die Gewichte wurde als Einheit angenommen das Gewicht von einem Kubik-Decimeter deſtillirtem Waſſer bei 4° C., der Temperatur ſeiner größten Dichte, und reducirt auf den luftleeren Raum. Dieſes Gewicht betrug nach dem älteren Gewichte 2 Pfund 5 gros 35 grains und erhielt den Namen Kilogramm, die dekadiſchen Unterabtheilungen mußten alſo Hektogramm, Dekagramm, Gramm, Decigramm u. ſ. f. heißen. Das Volumen eines Kilogramms Waſſer, alſo ein Kubikdecimeter, erhielt als Hohlmaß den beſonderen Namen Litre. Von dieſem Namen leiten ſich nun in der bekannten Weiſe andere ab, wie Deka-, Hekto-Kilolitre, Deci-, Centi-, Milliliter. Beim Ausmeſſen des Holzes gebraucht man noch den Ausdruck Stère, gleichbedeutend mit einem Kubikmeter. Flächenräume werden einfach gemeſſen durch die Anzahl der Quadratmeter, die ſie enthalten, oder der Quadratdecimeter u. ſ. f., nur als Ackermaß kommt die Einheit Are vor und bedeutet 100 Quadratmeter, eine Hektare bedeutet dann 100 Aren.

Am Schluß der hierher gehörenden Arbeiten wurden die aufs genauſte gearbeiteten Normalmaße durch eine Commiſſion, an deren Spitze Laplace ſtand, im Archiv der Republik niedergelegt. Dazu gehörte zuerſt ein Meter von Platin (étalon primitif) und ein Kilogramm von Platin, dann noch zwei Meter von Stahl, an den Enden von Meſſing und ein Kilogramm von Meſſing. Dieſe Grundmaße ſollten mit der größten Sorgfalt aufbewahrt werden und nur in außerordentlichen Fällen zur Vergleichung benutzt werden. Außerdem wurde aber noch ein genaues Meter von Platin und ein Kilogramm von Platin auf der Sternwarte niedergelegt, um in den gewöhnlichen Fällen zur Vergleichung benutzt zu werden.

So großartig nun auch das eben beſchriebene Unternehmen geweſen iſt, und ſo glänzend es durchgeführt wurde, ſo ſcheint doch die Ehre, welche die Wiſſenſchaft dabei davongetragen hat, größer zu ſein als der praktiſche Nutzen, der dadurch erreicht wurde. Es wird immer mißlich erſcheinen, wenn ein beſtehendes Maßſyſtem vollſtändig beſeitigt und dafür ein ganz neues an die Stelle geſetzt werden ſoll, namentlich wenn dazu kommt, daß das neue Syſtem wohl wiſſenſchaftliche Vorzüge, aber praktiſche Nachtheile hat. Zu den letzteren möchten wir die dekadiſche Eintheilung rechnen. Dem täglichen Bedürfniſſe entſpricht eine wiederholte Eintheilung nach der 2 und eine Eintheilung nach der 3 viel mehr als eine Eintheilung nach der 10, bei welcher ſich Drittel und Viertel einer höheren Einheit

nicht durch eine ganze Anzahl der unteren Einheiten, wenigſtens (bei der 4) nicht der nächſt unteren Einheit darſtellen laſſen. Die Einführung des neuen Maßſyſtems fällt in Frankreich in die Zeit der erſten Revolution, durch welche faſt alle Verhältniſſe umgeſtaltet wurden, aber dennoch hat das alte Maßſyſtem nicht ganz verdrängt werden können, vielmehr findet ſich jetzt noch dort eine Vorliebe, die alten Maße anzuwenden, wo nicht geradezu das Geſetz anders befiehlt.

Dem altfranzöſiſchen Längenmaß lag die Toiſe von 6 Fuß, auch Toiſe von Peru genannt, zum Grunde, der Fuß = $^1/_6$ Toiſe, auch königlicher Fuß (pied du roi) genannt, wurde in 12 Zoll, der Zoll in 12 Linien getheilt. Als Normalgewicht diente die pile de Charlemagne, abſtammend vom König Johann aus dem 14. Jahrhundert; dieſes Pfund zerfiel in 16 Unzen, die Unze in 8 gros, das gros in 72 grains, deren 18827,5 ein Kilogramm bilden. Um die ſchwer zu verdrängenden alten Maßnamen mit den neuen Maßen in Einklang zu bringen, wurde durch Decret vom 12. Febr. 1812 der Gebrauch einiger alter Maße, nachdem ſie dem neuen Syſteme angepaßt waren, erlaubt, doch mußte auf den Etalons ihr Verhältniß zum Metermaße angegeben ſein. Hiernach iſt die neue Toiſe eine Länge von 2 Meter, in 6 Fuß getheilt, der Fuß hat alſo 333$^1/_3$ Millimeter oder 147,765 Linien altes Maß, auch dieſer Fuß iſt in 12 Zoll zu 12 Linien getheilt, die Elle (aune) enthält 12 Decimeter und iſt in Halbe, Viertel, Achtel, Sechzehntel oder in Drittel, Sechstel, Zwölftel getheilt. Der Boiſſeau, ein altes Fruchtmaß und 13,00829 Litre enthaltend, wurde nun zu 12,5 Litre feſtgeſtellt und in 2, 4, 8 Theile getheilt, auch wurde geſtattet, das Litre in 2, 4, 8, 16 Theile zu theilen. Das Pfund ſollte ein halbes Kilogramm, d. h. 500 Gramme ſein und behielt ſeine alte Eintheilung in 16 Unzen zu 8 gros zu 72 grains; da dieſes Gewicht ſich von dem alten nur um ein Geringes unterſchied, ſo wurde es auch als Apothekergewicht gebraucht, während das Grammgewicht nicht in die Officinen der Apotheker eingeführt werden konnte.

In England iſt man ſchon ſehr frühe darauf bedacht geweſen, Maß und Gewicht feſtzuſtellen. Schon Heinrich I. befahl im Jahre 1101, daß die Elle (angelſ. gyrd oder girth) die Länge ſeines Armes bis zur Spitze des Mittelfingers habe. Dieſe Elle, die dem heutigen Yard entſpricht, wurden in 3 Fuß, jeder Fuß in 12 Zolle getheilt. Das älteſte, noch erhaltene Normalmaß rührt von der Königin Eliſabeth her, die es im Jahr 1588 in der Schatzkammer zu Weſtminſter niederlegen ließ. Das älteſte engliſche Gewicht wurde nach Weizenkörnern beſtimmt. Nach einer Verordnung vom Jahre 1266 ſollten 32 Weizenkörner aus der Mitte der Aehre genommen und wohlgetrocknet das Gewicht eines Penny geben, 20 ſolcher Gewichte ſollten 1 Unze und 12 Unzen ein Pfund betragen. Dieſes Gewicht wurde durch Heinrich VII. abgeändert und ein anderes Gewicht, das Troy-Gewicht eingeführt, welches ſeither als Reichsgewicht beſteht. Das Pfund dieſes Gewichtes (libra, Pfund) zerfällt in 12 Unzen (ounzes, abgek. oz), die Unze in 20 Pennygewichte (pennyweight, dwt) und das dwt in 24 grains (Körner). Das Pfund Troy-Gewicht hat alſo 5760 grains. Hierzu kam unter Heinrich VIII. noch ein anderes Gewicht, das Avoir du poids-Gewicht; zwar anfangs nur für den Gebrauch der Metzger beſtimmt, breitete es ſich doch immer mehr aus und wurde zuletzt das eigentliche Handelsgewicht der Engländer. Das Pfund des Avoir du poids-Gewicht hat das Gewicht von 7000 grains des Troy-Gewichts, wird aber für ſich in 16 Unzen, jede zu 16 Drachmen eingetheilt.

Von dieſem Gewicht wurde ein Pfundſtück aus Glockenſpeiſe ebenfalls im Jahre 1588 von der Königin Eliſabeth in der Schatzkammer niedergelegt.

Von den in der Schatzkammer befindlichen Maßoriginalen waren genaue Kopien angefertigt und an ſolche überlaſſen, welche Privilegien hatten, Maße anzufertigen und zu verkaufen. Inzwiſchen hatten ſich doch Verſchiedenheiten eingeſchlichen und ſelbſt die an verſchiedenen Orten befindlichen Normalmaße (Standards) zeigten ſich nicht übereinſtimmend. Als die königliche Societät, wie ſchon früher mehrere Mal, ſo auch im Jahre 1798 die Normalmaße vergleichen ließ, ergab ſich, daß das Yard der Königin Eliſabeth, das im Unterhauſe niedergelegte, das im Tower befindliche und das der königlichen Societät mit einander nicht übereinſtimmten, wenn auch der größte Unterſchied zwiſchen ihnen nur 0,008 Zoll betrug. Die hieraus hervorgehende Unſicherheit wurde erſt vollſtändig beigelegt durch den Parlamentsbeſchluß vom 17. Juni 1824, durch welchen das Verhältniß des Yard zu dem einfachen Secundenpendel in London feſtgeſtellt wurde. Das Yard ſoll demnach eine Länge haben, daß das einfache Secundenpendel in der Breite von London auf den Meeresſpiegel und den luftleeren Raum reducirt bei 62° F. eine Länge von 39,1393 engl. Zoll haben muß. Das Original-Muſtermaß befindet ſich im Hauſe der Gemeinen, führt den Namen Imperial Standard Yard, und auf demſelben ſtehen die Worte Standard Yard 1760. Wird mit dieſem Yard das Meter verglichen, ſo hat das Meter eine Länge von 39,37079 Zoll, wenn beide auf ihre Normaltemperaturen reducirt ſind, nämlich das franzöſiſche auf 0° und das engliſche auf 62° F. = $16^2/_3$ C.

Bei der Fixirung der engliſchen Gewichte im Jahre 1758 wurde ein im Tower vorgefundenes Pfund Troy-Gewicht zu Grunde gelegt. Mit dem neueren franzöſiſchen Gewichte verglichen wiegt das Troy-Pfund 373,243 Gramme, darnach kommen auf das Avoir du poids-Pfund 453,594 Gramme.

Vergleicht man ferner das engliſche Längenmaß mit dem Gewichte, ſo erhält man, daß 1 Kubikzoll Waſſer von 62° F. und auf den leeren Raum reducirt ein Gewicht von 252,722 grains hat.

In den öſterreichiſchen Erbſtaaten beſtanden ſchon ſeit längerer Zeit Muſterſtücke für Maß und Gewicht. Nach Herſtellung des franzöſiſchen Maßſyſtems wurde eine genaue Vergleichung der öſterreichiſchen Maße mit den franzöſiſchen vorgenommen. In Preußen iſt erſt im Jahre 1816 eine allgemeine Maß- und Gewichtsordnung für den ganzen Staat eingeführt; die Normalmaße ſind genau geprüft, mit den franzöſiſchen ſorgfältig verglichen und bei der mathematik-phyſikaliſchen Claſſe der Akademie niedergelegt worden. Zwiſchen dem preußiſchen Gewicht und dem preußiſchen Längenmaße beſtand bisher ein natürliches Verhältniß. Das preußiſche Pfund iſt nämlich genau der 66ſte Theil von dem Gewicht eines Kubikfußes Waſſer von 15° R. Gegenwärtig (1856) ſteht aber die Abänderung des preußiſchen Gewichtsſyſtems bevor, an die Stelle des bisherigen Pfundes ſoll das Zollpfund (= $^1/_2$ Kilogramm) treten, welches bisher im Zollverkehr des Zollvereins gebräuchlich geweſen iſt, hiermit ſoll zugleich eine abgeänderte Eintheilung der Gewichtseinheiten verbunden werden. 100 Pfund werden 1 Centner, 40 Ctnr. aber 1 Schiffslaſt bilden, das Pfund zerfällt dann in 30 Loth, das Loth in 10 Quentchen, das Quentchen in 10 Cent, dieſes in 10 Korn.

Auch die meiſten übrigen Staaten haben ſeither ihre Maße und Gewichte mit den franzöſiſchen verglichen, um ſie dadurch zu normiren; andere, wie die Niederlande, haben unter verändertem Namen das Metermaß, und wieder andere, wie Baden und das Großherzogthum Heſſen, haben unter Beibehaltung der urſprünglichen Namen ihre Maße abgeändert und in ein einfaches Verhältniß zum Metermaße gebracht.

Zweier Gewichte müſſen wir hier noch Erwähnung thun, die einerſeits nur für beſondere Geſchäftskreiſe gebräuchlich ſind, andererſeits aber ſich nicht auf einzelne Landesgebiete beſchränken. Es ſind das Apothekergewicht und das Münzgewicht.

Das Apothekergewicht gilt nicht blos in Deutſchland, ſondern noch in anderen europäiſchen Ländern und hat überall dieſelbe Eintheilung. Das Pfund (℔) zerfällt in 12 Unzen (ℨ), die Unze in 8 Drachmen (ʒ), die Drachme in 3 Skrupel (℈) und das Skrupel in 20 Gran (gr.). Als Normalgewicht dient hierfür das Nürnberger Silbergewicht, doch beſteht keine officielle Feſtſetzung dieſes Gewichtes. Eytelwein fand durch Vergleichung eines vom Nürnberger Magiſtrate erhaltenen Normalpfundes die Größe deſſelben zu 357,56686 franz. Grammen, dagegen fand Hauſchild dafür 357,854 Grammen.

Als Grundlage für das Münzgewicht dient die ſogenannte Kölniſche Mark, oder auch Augsburger Mark genannt. Sie wird in 16 Loth, das Loth in 4 Quint, das Quint in 4 Pfennige und der Pfennig in 256 Richtpfennige getheilt. Die Mark enthält alſo 65536 Richtpfennige. Als in neuerer Zeit das Gewicht der Kölniſchen Mark feſtgeſtellt werden ſollte, ergab ſich, daß nirgends ein hinreichend verbürgtes genaues Normalgewicht vorhanden war. Die in den einzelnen Münzſtätten gebrauchten Hauptgewichte haben alle geringe Abweichungen von einander, ſo daß ſich nicht ſagen läßt, wie groß eigentlich die Kölniſche Mark ſei. So wiegt die Berliner Münzmark 233,8555 Gramme, die Wiener 233,887 Gr., die Dresdner 235,734 Gr.

Im Nachfolgenden wollen wir zunächſt eine Ueberſicht der in den einzelnen Ländern beſtehenden Eintheilungen geben, ſodann aber einige Tafeln zur Vergleichung der hauptſächlichſten Maße und Gewichte anreihen.

I. Ueberſicht der beſtehenden Maßeintheilungen.

1. Frankreich.

A. Alte Maße.

a) Längenmaße.

1 Toiſe (von Peru) = 6 Fuß (pied du roi); 1 Fuß = 12 Zoll = 144 Linien.
1 Elle (aune) = 526⅚ Linien; die Krämer-Elle (Pariſer Stab) = 324 Linien.
1 Meile (lieue) = 13704,4 Fuß, 1 Seemeile = 17130,5 Fuß.

Flächenmaße*)

Perche des eaux et forêts = 484 Quadrat-Fuß, Arpens des eaux et forêts = 100 Perches, Perche de Paris = 324 Q.-Fuß, Arpent de Paris = 100 Perches de Paris.

*) Es ſind hier nur die beſonderen Flächen- und Körpermaße angeführt, die allgemeinen, die aus den Längenmaßen mit dem Zuſatz „Quadrat“- und „Kubik“- abgeleitet werden, ſind als ſich ſelbſt erklärend hier nicht angegeben.

c) Körpermaße.

Für trockne Dinge. 1 Muid (Tonne) = 12 Setiers, 1 Setier = 4 Minots = 12 Boisseaux, (für Salz war 1 Setier = 16 Boisseaux, für Hafer 1 S. = 24 B. und für Steinkohle 1 S. = 32 B.); 1 Boisseau = 655,78 Kubikzoll.

Für Flüssigkeiten. 1 Muid (Tonne) = 2 Feuillettes = 4 Quartauts = 36 Setiers, 1 S. = 8 Pinten, 1 Pinte = 18 Kubikzoll (gesetzlich, factisch aber 46,95 Kubikzoll).

d) Gewichte.

1 Centner (Quintal) = 100 Pfund (Livre poid du marc, pile du Charlemagne), 1 Pfd. = 16 Unzen (Onces), 1 Unze = 8 gros, 1 gros = 72 grains.

B. Neue Maße.

a) Längenmaße.

1 Myriameter = 10 Kilometer = 100 Hektometer = 1000 Dekameter = 10000 Meter; 1 Meter = 10 Decimeter = 100 Centimeter = 1000 Millimeter.

b) Flächenmaße.

1 Are = 100 Quadratmeter, 1 Hektare = 100 Aren.

c) Körpermaße.

1 Liter = 1 Kubikdecimeter, 1 Kiloliter = 10 Hektoliter = 100 Dekaliter = 1000 Liter; 1 Liter = 10 Deciliter = 100 Centiliter = 1000 Milliliter.

Beim Holzmessen. 1 Stere = 1 Kubikmeter, 1 Kilostere = 1000 Steren.

d) Gewichte.

1 Kilogramm = 10 Hektogramm = 100 Dekagramm = 1000 Gramm.
1 Gramm = 10 Decigramm = 100 Centigramm = 1000 Milligramm.
1 Quintalmetrique = 100 Kilogramm, 1 Millier = 1000 Kilogramm.

2. England.

a) Längenmaße.

1 Yard = 2 Kubits = 3 Fuß (foot, pl. feet).
1 Fuß (foot) = $1^1/_2$ spans = 4 palms = 12 Zoll.
1 gunterslink = 2,64 palms.
1 fathom = 1,2 paces = 6 feet.
1 Meile (mile) = 8 furlongs = 80 gunterschain = 320 poles (rods) = 1760 yards.

b) Flächenmaße.

1 acre = 4 roods of land = 160 Quadrat-Rods = 4840 Quadrat-Yards.

A. Aeltere Hohlmaße.

Für trockne Dinge, die nicht gehäuft, sondern mit dem Streichholz gestrichen werden.
1 Last = 2 wey = 10 quarters = 20 cooms = 80 bushels.
1 bushel = 4 peck = 8 gallons.
1 gallon = 8 pints = 268,8 Kubikzoll.

Für trockne Dinge, die gehäuft werden. 1 chaldron = 12 sacks = 36 bushels.

Für Bier. 1 butt = $1^1/_2$ puncheon = 2 hogshead = 3 barrels (= 6 kilderkin = 12 firkin) = 108 Gallonen.
1 Gallon = 4 Quarts = 8 pints = 282 Kubikzoll.

Für Wein. 1 tun (Tonne) = 2 pipes = 3 puncheon = 4 hogshead = 6 tierces = 252 gallons.
1 Gallon = 4 Quarts = 8 Pinten = 231 Kubikzoll; 1 Anker = 10 gallons.

B. Neuere Hohlmaße.

Für Flüssigkeiten und gestrichene trockne Dinge.
1 quarter = 8 bushels = 32 pecks = 64 gallons.
1 gallon = 4 quarts = 8 pints = 277,274 Kubikzoll.

Für trockne, gehäufte Sachen.
1 chaldron = 12 sacks = 36 bushels; 1 bushel = 2815,219 Kubikzoll.

d) Gewichte.

1 imperial Troy pound (℔) = 12 ounzes (oz) = 240 pennyweight (dwt) = 5760 grains.
1 pount avoir du poid = 16 ounzes = 256 drams (Drachmen) = 7000 grains.
1 ton = 20 hundredweight (Cwt) = 80 quarters = 2240 pounds a. d. p.

3. Oeſterreich.

a) Längenmaße.

1 Fuß = 12 Zoll = 144 Linien = 1728 Skrupel oder Punkte.
1 Klafter = 6 Fuß, 1 Elle = 2,468 Fuß.
1 Fauſt (Pferdemaß) = 4 Zoll, 1 Strich (Rekrutenmaß) = 3 Linien.

b) Flächenmaß.

1 Joch = 1600 Quadratklafter.

c) Körpermaße.

Für trockne Dinge. 1 Muth = 30 Metzen.
1 Metze = 8 Achtel = 32 Mäßeln = 128 Becher = 3364,89 Kubikzoll.
Für Flüſſigkeiten. 1 Dreiling = 3 Fuß = 30 Eimer = 120 Maß (Kannen) = 480 Seitel.
1 Maß = 77,4144 Kubikzoll.

d) Gewichte.

1 Centner = 100 Pfund, 1 Pfund = 32 Loth, 1 Lth. = 4 Quentchen = 16 Sechzehntel.

4. Preußen.

a) Längenmaße.

1 Ruthe = 12 Fuß = 144 Zoll = 1728 Linien. 1 Elle = 25,5 Zoll.
1 Meile = 2000 Ruthen = 24000 Fuß.
Beim Seeweſen: 1 Faden = 6 Fuß.
Beim Bergbau: 1 Lachter = 8 Achtel = 80 Lachterzoll = 8000 Primen = 80000 Secunden. 1 Lachterzoll = 1 Zoll.

b) Flächenmaße.

1 Morgen (für Land) = 180 Quadratruthen.

c) Körpermaße.

Für trockne Dinge. 1 Wiſpel = 6 Tonnen = 24 Scheffel.
1 Scheffel = 16 Metzen = 48 Quart = 3072 Kubikzoll.
Für Holz. 1 Klafter = 108 Kubikfuß.
Für Flüſſigkeiten. 1 Orhoft = 1,5 Ohm = 3 Eimer = 6 Anker = 180 Quart (Weinmaß).
1 Kufe = 2 Faß = 4 Tonnen = 400 Quart (Biermaß). 1 Quart = 64 Kubikzoll.

d) Gewichte (bisher).

1 Centner = 110 Pfund, 1 Pfund = 32 Loth, 1 Loth = 4 Quentchen.
1 Schiffslaſt = 4000 Pfund.
Neues Gewicht. 1 Schiffslaſt = 40 Centner, 1 Centner = 100 Pfund, 1 Pfd. = 30 Loth, 1 Loth = 10 Quentchen, 1 Quentchen = 10 Cent, 1 Cent = 10 Korn.

5. Rußland.

a) Längenmaße.

1 Fuß (= 1 Fuß engl.) = 12 Zoll = 120 Linien = 1200 Skrupel.
1 sashén = 3 arschine (Elle) = 48 werschok = 7 Fuß.
1 Werſt = 500 sashén.

b) Flächenmaß.

1 dessätina (für Land) = 2400 Quadrat-sashén.

c) Körpermaße.

Für trockne Dinge. 1 tschetwert od. tschetwerik = 8 garnitz = 1601,22 Kubikzoll.
Für Flüſſigkeiten. 1 wedro = 5 stoof = 10 kruschke = 20 polukruschke = 750,5 Kub.-Z.

d) Gewichte.

1 Pfund*) = 32 Loth = 96 solotnik = 9216 doli.
1 berkowetz = 10 pud = 400 Pfund.

6. Schweden.

a) Längenmaße.

1 Famn = 3 Alnar = 6 Fot.
1 Fot { 10 Decimal-Tum (Zoll) = 100 Linier. / 12 Verthum (Duodecimalzoll) = 144 Linier.
1 Meile = 18000 Ellen (alnar).

*) Das ruſſiſche Pfund ſoll dem Gewichte von 25 Kubikzoll deſtillirtem Waſſer bei 50° F. und 30 Zoll Barometerſtand gleich ſein.

b) Flächenmaße.

Quadratfamn, Quadrataln u. ſ. f.

c) Körpermaße.

Für trockne Dinge. 1 Laſt = 12 große Tunner, 1 große Tunna = 36 Kappar, 1 kleine Tunna = 32 Kapper, 1 Kappe = 1,75 Kanna, 1 Kanna = 100 Kub.-Decimaltum.

Für Flüſſigkeiten. 1 Kanna = 2 Stop = 8 Quarter = 32 Jungfrar = 100 K.-Decimalzoll.

1 Am = 4 Ankar = 60 Kannor (Weinmaß).

d) Gewicht.

1 Skalpund = 32 Lod = 128 Quintin. 1 Skeppund = 20 Lispund = 400 Skalpund.

7. Dänemark.

a) Längenmaße.

1 Rathe = $^5/_3$ Faden = 5 Ellen = 10 Fuß = 120 Zoll = 1440 Linien.

1 Meile = 12000 Ellen.

b) Flächenmaße.

Quadratruthe, u. ſ. f.

c) Körpermaße.

Für trockne Dinge. 1 Korntonne = 8 Scheffel = 144 Pott = $4^1/_2$ Kubikfuß.

Für Flüſſigkeiten. 1 Kanne = 2 Pott = 8 Pegel = $^1/_{16}$ Kubikfuß.

1 Fuder = 6 Ohm = 24 Anker = 930 Pott. 1 Biertonne = 136 Pott.

d) Gewichte.

1 Pfund = 32 Loth = 128 Quint. 1 Quint = 4 Ort = 64 Gs = 512 Gran.

1 Centner = 100 Pfd., 1 Schiffspfund = 20 Liespfund = 320 Pfund.

8. Niederlande.

(Die Maße ſtimmen der Größe nach mit den franzöſiſchen überein.)

a) Längenmaße.

Miſl = Kilometer, Röde = Dekameter, Elle = Meter, Palm = Decimeter, Duim = Centimeter, Streep = Millimeter.

b) Flächenmaße.

Quadratröde = Are, Bunder = Hektare.

c) Körpermaße.

Für trockne Dinge. Mudde = Hektoliter, Schepel = Dekaliter, Kop = Liter.

Für Flüſſigkeiten. Vat = Hektoliter, Kaa = Liter, Maatje = Deciliter, Vingerhoet = Centiliter.

d) Gewichte.

Pond = Kilogramm, Once = Hektogramm, Lood = Dekagramm, Wigtje = Gramm, Korrel = Decigramm.

9. Spanien.

a) Längenmaße.

1 estadal = 2 brazo (toesa) = 4 varas = 12 pies (Fuß).

1 pie (de Burgos) = $1^1/_4$ palmos = 12 pulgados = 144 lineas. 1 cuerda = 8,25 varas.

b) Flächenmaße.

1 fanega (für Land) = 400 Quadrat-estadales.

c) Körpermaße.

1 mogo = 16 arrobes (cantaras) = 128 azumbres.

1 azumbra = 4 quartillos = $134^2/_3$ Kubik-pulgadas.

1 cahiz = 12 fanegas = 144 celemines.

d) Gewichte.

1 libra = 2 marcos de Burgos = 16 onças = 128 oehavos = 256 adarmes = 9216 granos.

1 quintal = 4 arrobas = 100 libras.

10. Portugal.

a) Längenmaße.

1 vara (Schritt) = $5^1/_3$ pe = 5 palmos = 40 pollegadas (Zoll) = 480 linhas = 4800 punctas.

1 Grad = 18 legoas = 54 milhas (Meile) = 162 estudios (Stadium).

1 estudio = $117^{11}/_{30}$ braças. 1 braça = 1,5 passo geometrico = 2,25 varas.

b) Flächenmaße.

1 geira (für Land) = 4840 Quadrat-varas.

c) Körpermaße.

1 barrel = 18 almudes, 1 pipa = 26 almudes, 1 tonelada = 32 almudes.
1 almude = 2 potes = 12 canadas = 48 quartetillos.
1 moyo = 15 fongas = 60 alquires = 240 quartos = 480 oitevas.

d) Gewichte.

1 arratel = 2 marcos = 4 quartas = 16 onças = 128 outavas = 9216 graos.
1 quintal = 4 arrobas = 128 arrateis.

11. Deutsche Bundesländer. (Außer Oesterreich und Preußen.)

a) Anhalt: wie in Preußen.

b) Baden.

1 Fuß = 10 Zoll, 1 Elle = 2 Fuß. 1 Ruthe = 10 Fuß.
1 Meile = 2 Wegstunden = 29629 Fuß.
1 Morgen = 400 Quadratruthen.
1 Maß = 1 Meslein (1½ Liter), 1 Ohm = 100 Maß = 400 Schoppen.
1 Malter = 10 Sester = 100 Meslein.
1 Pfund = 32 Loth = 10 Zehnlinge = 100 Centaß = 1000 Defaß = 10000 Aß.
1 Centner = 10 Stein = 100 Pfund. (= 50 Klgr.)

c) Baiern.

1 Fuß = 12 Zoll, 1 Elle = 2¹⁰/₁₁ Fuß, 1 Ruthe = 10 Fuß.
1 Morgen (Tagewerk) = 400 Quadratruthen.
1 Maß (Maßkanne) = 0,043 Kubikfuß, 1 Eimer = 60 Maß = 240 Quartel.
1 Scheffel = 6 Metze = 12 Viertel = 48 Maßel = 192 Dreißiger, 1 Metze = 34²/₃ Maß.
1 Pfund = 32 Loth, 1 Centner = 5 Stein = 100 Pfund.

d) Braunschweig.

1 Fuß = 12 Zoll, 1 Elle = 2 Fuß, 1 Ruthe = 16 Fuß, 1 Lachter = 80 Zoll = 8½ Linie.
1 Feldmorgen = 120 Quadratruthen, 1 Waldmorgen = 160 Quadratruthen.
1 Orhoft = 1½ Ohm = 6 Anker = 240 Quartier, 1 Quartier = 52⁴/₁₁ preuß. Kub.-Z.
1 Himten = 2316 Kub.-Zoll.
1 Wispel = 40 Himten = 160 Vierfaß = 640 Metzen.
1 Centner = 100 Pfund, 1 Pfund = 32 Loth.

e) Bremen.

1 Fuß = 12 Zoll, 1 Elle = 2 Fuß, 1 Ruthe = 16 Fuß.
1 Orhoft = 1½ Ohm = 6 Anker = 30 Viertel = 67½ Stübchen = 270 Quart = 1080 Mengel.
1 Last = 40 Scheffel = 160 Viertel = 640 Spint.
1 Centner = 116 Pfund, 1 Pfund = 32 Loth.

f) Frankfurt a. M.

1 Fuß = 12 Zoll, 1 Elle = 1,9231 Fuß, 1 Feldruthe = 12½ Fuß, 1 Waldruthe = 15,849 Fuß.
1 Morgen = 160 Quadrat-Ruthen.
1 Ohm = 20 Viertel = 80 Aichmaß = 320 Schoppen.
1 Malter = 4 Simmer = 16 Sechster = 64 Gescheid, 1 Gescheid = 1 Aichmaß.
1 Centn. = 100 Pfd. Schwergewicht = 108 Pfd. Leichtgewicht, 1 Pf. Leichtg. = 32 Loth.

g) Hamburg.

1 Fuß = 3 Palmen = 12 Zoll, 1 Elle = 2 Fuß, 1 Klafter = 6 Fuß.
1 Marschruthe = 14 Fuß, 1 Geestruthe = 16 Fuß.
1 Morgen { Marschland = 600 Quadrat-Marschruthen. / Saatland = 200 Quadrat-Geestruthen.
1 Ohm = 4 Anker = 8 Eimer = 20 Viertel = 40 Stübchen = 80 Kannen = 160 Quart = 320 Oeßel. 1 Stübchen = 265,3152 Kub.-Zoll.
1 Wispel = 10 Scheffel = 20 Faß = 40 Himten = 160 Spint.
1 Faß = 3871,855 Kubik-Zoll.
1 Schiffspfund = 2½ Centner = 20 Liespfund, 1 Cent. = 112 Pfd., 1 Pfd. = 32 Loth.

h) Hannover.

1 Fuß = 12 Zoll, 1 Elle = 2 Fuß, 1 Ruthe = 16 Fuß, 1 Meile = 1587½ Ruthen.
1 Meile = 32000 Fuß.
1 Morgen = 120 Quadrat-Ruthen.
1 Ohm = 4 Anker = 40 Stübchen = 80 Kannen = 160 Quartier = 320 Nößel.
1 Stübchen = 270 Kub.-Zoll.
1 Last = 16 Malter = 96 Himten = 384 Metzen, 1 Himten = 1¼ Kub.-Fuß.
1 Centner = 100 Pfund, 1 Pfd. = 32 Loth.

i) Hessen, Großherzogthum.

1 Fuß = 10 Zoll, 1 Elle = 24 Zoll, 1 Klafter = 10 Fuß, 1 Meile = 3000 Klafter, 1 Stunde = 2000 Klafter. 1 Fuß = ⅓ Meter.
1 Morgen = 4 Viertel = 400 Quadrat-Klafter.
1 Ohm = 4 Viertel = 80 Maß = 320 Schoppen.
1 Malter = 4 Simmer = 16 Kumpf = 64 Gescheid = 256 Mäßchen.
1 Maß = 1 Gescheid = 2 Liter.
1 Centner = 100 Pfund, 1 Pfd. = 32 Lth. (= 500 Gramm).

k) Hessen, Kurfürstenthum.

1 Fuß = 12 Zoll, 1 Elle = 2 Fuß, 1 Ruthe = 14 Fuß.
1 Acker = 150 Quadrat-Ruthen.
1 Ohm = 20 Viertel = 80 Maß = 320 Schoppen.
1 Viertel = 2 Scheffel = 16 Metzen = 64 Mäßchen.
1 Centner = 110 Pfund, 1 Pfd. = 32 Lth.

l) Lübeck.

1 Fuß = 12 Zoll, 1 Elle = 2 Fuß, 1 Ruthe = 16 Fuß.
1 Ohm = 20 Viertel = 40 Stübchen = 80 Kannen = 160 Quartier = 320 Planken = 640 Ort.
1 Last = 8 Drömt = 24 Tonnen = 96 Scheffel = 384 Faß.
1 Pfund = 32 Loth. 1 Centner = 112 Pfd.

m) Mecklenburg-Schwerin.

1 Fuß = 12 Zoll (= 1 Lübecker F.), 1 Ruthe = 16 Fuß.
1 Ohm = 4 Anker = 5 Eimer = 20 Viertel = 40 Stübchen = 80 Kannen = 160 Pott.
1 Last = 8 Drömt = 96 Scheffel = 384 Faß = 1536 Metzen oder Spint.
1 Pfund = 32 Loth, 1 Centner = 112 Pfd.

n) Nassau.

1 Fuß Feldmaß = 10 Zoll (½ Met.), 1 Werkfuß = 12 Zoll (= 0,3 M.) 1 Ruthe = 10 F.
1 Morgen = 100 Quadrat-Ruthen.
1 Ohm = 80 Maß = 320 Schoppen.
1 Malter = 4 Viernsel = 16 Kumpf = 64 Gescheid.
1 Cent. = 106 Pfund.

o) Oldenburg.

1 Fuß = 12 Zoll, 1 Ruthe = 18 od. 20 Fuß.
1 Morgen = 356 Q.-Ruthen à 400 Q.-Fuß.
1 Orhoft = 1½ Ohm = 6 Anker = 156 Kannen = 240 Quartier.
1 Last = 12 Molt = 18 Tonnen = 144 Scheffel.
1 Schiffspfund = 290 Pfd., 1 Centner = 100 Pfd., 1 Pfd. = 32 Lth.

p) Sachsen, Königreich.

1 Fuß = 12 Zoll, 1 Elle = 2 Fuß, 1 Ruthe = 15⅙ Fuß, 1 Meile = 32000 Fuß.
1 Acker = 300 Q.-Ruthen.
1 Eimer = 72 Kannen.
1 Wispel = 2 Malter = 24 Scheffel = 96 Viertel = 384 Metzen = 1536 Mäßchen.
1 Centner = 100 Pfund, 1 Pfd. = 32 Loth (= ½ Klgr.)

q) Würtemberg.

1 Fuß = 10 Zoll, 1 Elle = 2,144 Fuß, 1 Ruthe = 10 Fuß.
1 Morgen = 384 Q.-Ruthen.
1 Fuder = 6 Eimer = 96 Imri = 960 Maß = 3840 Schoppen.
1 Scheffel = 8 Simri = 32 Vierling = 128 Meslein = 256 Ecklein = 1024 Viertelein.
1 Centner = 104 Pfd., 1 Pfd. = 32 Loth.

II. Tafel zur Vergleichung der Fußmaße. (Mit Beifügung der Logarithmen.)

Franz. Meter (Niederl. Elle)	Pariser Fuß	Englischer Fuß (Russischer, amerikanischer Fuß)	Schwedischer Fuß	Spanischer Fuß	Portugiesischer Fuß	Wiener Fuß	Preußischer (rheinl., dänischer) Fuß
1	3,078444 0,4883313	3,280899 0,5153929	3,368126 0,5273883	3,538370 0,5488278	3,044140 0,4834646	3,163446 0,5001605	3,186199 0,5032730
0,3248394 9,5116687	1	1,065763 0,0276616	1,094100 0,0390370	1,149469 0,0604975	0,9888567 9,9951333	1,027612 0,0118292	1,035003 0,0149417
0,3047945 9,4840071	0,9382928 9,9723384	1	1,026362 0,0113954	1,078537 0,0328349	0,9278370 9,9674717	0,9642010 9,9841676	0,9711361 9,9872801
0,2969010 9,4726117	0,9139934 9,9609430	0,9741024 9,9886046	1	1,050603 0,0214395	0,9038084 9,9560763	0,9392304 9,9727722	0,9459860 9,9758847
0,2826000 9,4511722	0,8699664 9,9393023	0,9271822 9,9671631	0,9518324 9,9785603	1	0,8602740 9,9346368	0,893990 9,9513327	0,9004202 9,9544452
0,3283000 9,5163334	1,011269 0,0048667	1,077775 0,0325283	1,106429 0,0439237	1,162420 0,0653632	1	1,039190 0,0166949	1,046664 0,0198084
0,3161109 9,4998393	0,9731299 9,9881708	1,037128 0,0158324	1,064701 0,0272278	1,118381 0,0486673	0,9622880 9,9833051	1	1,007193 0,0031125
0,3138535 9,4967270	0,9661806 9,9850383	1,029722 0,0127199	1,057098 0,0241133	1,110397 0,0455348	0,9554140 9,9801916	0,9928388 9,9968875	1

Baden	1 Fuß = 0,300000	Meter	Hamburg	1 Fuß = (wie Würtemberg)		Mecklenb. Schw.	1 Fuß = (wie Lübeck)	
(Schweiz)	1 Fuß = 9,4771213	=						
Baiern	1 Fuß = 0,2918592	=	Hannover	1 Fuß = 0,2920947	Meter	Nassau	1 Fuß = (wie Baden)	
	9,4651734	=		9,4655237	=			
Braunschweig	1 Fuß = 0,2853624	=	Hessen, Ghzth.	1 Fuß = 0,250000	=	Oldenburg	1 Fuß = 0,2964150	Meter
	9,4555967	=		9,3979400	=		9,4719002	=
Bremen	1 Fuß = 0,2891950	=	Hessen, Kfth.	1 Fuß = 0,2876991	=	Sachsen, Königr.	1 Fuß = 0,2831901	=
	9,4611908	=		9,4589386	=		9,4520781	=
Frankfurt a. M.	1 Fuß = 0,2846000	=	Lübeck	1 Fuß = 0,2911000	=	Würtemberg	1 Fuß = 0,2864903	=
	9,4542349	=		9,4640422	=		9,4571100	=

III. Tafel zur Vergleichung der Quadratfuße.

Französische Quadr.-Meter	Pariser Quadr.-Fuß	Englischer (russischer) Q.-Fuß	Schwedischer Q.-Fuß	Spanischer Q.-Fuß	Portugiesischer Q.-Fuß	Wiener Q.-Fuß	Preußischer Q.-Fuß
1	9,476817	10,76430	11,34427	12,52145	9,266786	10,00739	10,15187
0,1035207	1	1,135856	1,197053	1,3212805	0,9778472	1,055987	1,071232
0,0928997	0,8803934	1	1,053879	1,1632414	0,8608816	0,9296836	0,9431053
0,08815022	0,8353836	0,9488754	1	1,1037710	0,8168694	0,882154	0,8948894
0,07986278	0,7568415	0,8596268	0,9059850	1	0,7400713	0,7992184	0,8107564
0,1079122	1,022665	1,161600	1,2241856	1,351221	1	1,079916	1,095511
0,09992613	0,9469817	1,075635	1,1335888	1,251223	0,9259982	1	1,014437
0,09850405	0,9335049	1,060327	1,1174587	1,2334162	0,912816	0,9857686	1

	Q.-Meter		Q.-Meter		Q.-Meter
Baden	1 Q.-Fuß = 0,0900000	Hamburg	1 Q.-Fuß (wie Württemberg)	Mecklenburg Schw.	1 Q.-Fuß (wie Lübeck)
Baiern	1 Q.-Fuß = 0,08518180	Hannover	1 Q.-Fuß = 0,08531933	Nassau	1 Q.-Fuß (wie Baden)
Braunschweig	1 Q.-Fuß = 0,8143171	Hessen, Ghzth.	1 Q.-Fuß = 0,0625000	Oldenburg	1 Q.-Fuß = 0,08776188
Bremen	1 Q.-Fuß = 0,08363376	Hessen, Kfth.	1 Q.-Fuß = 0,08277076	Sachsen, Königr.	1 Q.-Fuß = 0,08019661
Frankfurt a. M.	1 Q.-Fuß = 0,08099717	Lübeck	1 Q.-Fuß = 0,08473922	Würtemberg	1 Q.-Fuß = 0,08207671

IV. Tafel zur Vergleichung der Kubikfuße.

Französischer Kub.-Meter	Pariser Kub.-Fuß	Englischer (russischer) Kub.-Fuß	Schwedischer Kub.-Fuß	Spanischer Kub.-Fuß	Portugiesischer Kub.-Fuß	Wiener. Kub.-Fuß	Preuß. (dänischer) Kub.-Fuß
1	29,17383	33,31658	38,20893	41,30813	28,209397	31,65785	32,34587
0,03427727	1	1,210356	1,3096978	1,518772	0,9669400	1,085143	1,108728
0,02831531	0,8260668	1	1,0818977	1,254398	0,7987577	0,8964019	0,9158836
0,02617189	0,763533	0,9243016	1	1,1596275	0,7382933	0,828546	0,846553
0,02256922	0,6584268	0,7970677	0,8623458	1	0,6366641	0,7144932	0,730021
0,03544918	1,0341895	1,251944	1,3544733	1,570627	1	1,1222372	1,146635
0,03158774	0,9215362	1,115371	1,206933	1,399594	0,8910772	1	1,021733
0,03091584	0,9019342	1,091842	1,181261	1,369823	0,872117	0,9787291	1

	Kub.-Meter		Kub.-Meter		Kub.-Meter
Baden	1 Kub.-Fuß = 0,027000	Hamburg	1 Kub.-Fuß = (wie Würtemberg)	Mecklenburg	1 Kub.-Fuß = (wie Lübeck)
Baiern	1 Kub.-Fuß = 0,02486109	Hannover	1 Kub.-Fuß = 0,02492133	Nassau	1 Kub.-Fuß = (wie Baden)
Braunschweig	1 Kub.-Fuß = 0,0323738	Hessen, Ghzth.	1 Kub.-Fuß = 0,01562300	Oldenburg	1 Kub.-Fuß = 0,02604357
Bremen	1 Kub.-Fuß = 0,02418647	Hessen, Kfth.	1 Kub.-Fuß = 0,02381307	Sachsen, Königr.	1 Kub.-Fuß = 0,02271088
Frankfurt a. M.	1 Kub.-Fuß = 0,02303179	Lübeck	1 Kub.-Fuß = 0,02466758	Würtemberg	1 Kub.-Fuß = 0,02351418

V. Tafel der Meilenmaße.

1 Kilometer	= 3078,5	Par. Fuß		1 spanische Legua	= 12882	Par. Fuß	
1 französische Lieue	= 13704,4	"	"	1 portugiesische Legua	= 19034	"	"
1 franz. oder holländische Seemeile	= 17130,4	"	"	1 österreichische Meile	= 43003,5	"	"
1 englische League				1 preußische Meile	= 23113	"	"
1 englische Meile	= 4936,4	"	"	1 geographische Meile	= 22842,5	"	"
1 engl. Seemeile	= 5710,1	"	"	1 italienische Meile	= 5710,1	"	"
1 russische Werst	= 3284,8	"	"	1 bairische große Meile	= 39423,8	"	"
1 schwedische Meile	= 32911,6	"	"	1 hannöversche Meile	= 28800	"	"
1 dänische Meile	= 23163	"	"	1 sächsische gemeine M.	= 20907,8	"	"
				1 " Polizei-Meile	= 27877,1	"	"

VI. Tafel der besonderen Flächenmaße.

1 englische acre	= 4840 Quadr.-yards	= 0,4046710	Hektaren.
1 russische dessätina	= 2400 Quadr.-sashén	= 1,092300	"
1 schwedische Tonne	= 56000 Quadr.-Fuß	= 0,4936411	"
1 spanische fanega	= 400 Q.-estudales	= 0,459700	"
1 portugiesische geira	= 4840 Quadr.-varas	= 0,5817000	"
1 österreich. Joch	= 1600 Quadr.-Klafter	= 0,5755745	"
1 preußische Morgen	= 180 Q.-Ruthen	= 0,2553225	"
1 bairisch. Tagewerk	= 400 Q.-Ruthen	= 0,3407272	"
1 hannöv. Morgen	= 120 Q.-Ruthen	= 0,2621010	"
1 sächsisch. Acker	= 300 Q.-Ruthen	= 0,5534234	"
1 braunschw. Feldmorgen	= 120 Q.-Ruthen	= 0,2501582	"
1 würtemb. Morgen	= 384 Q.-Ruthen	= 0,3131746	"
1 darmstädt. Morgen	= 400 Q.-Klafter	= 0,250000	"
1 badischer Morgen	= 400 Q.-Ruthen	= 0,360000	"

VII. Tafel der Fruchtmaße.

1 französisch. Kiloliter	= 1000	Liter		1 braunschweig. Wispel	= 310,440	Liter	
1 engl. Imperial-Quarter	= 290,689	"		1 bremischer Scheffel	= 71,126	"	
1 österreich. Metze	= 61,499	"		1 hamburgischer Scheffel	= 103,371	"	
1 preußisch. Scheffel	= 54,961	"		1 hannöv. Malter	= 186,620	"	
1 russischer Tschetwert	= 194,336	"		1 hessischer (großh.) Malter	= 128,000	"	
1 schwed. Tonne (fl.)	= 146,320	"		1 hessisches (kurf.) Viertel	= 160,377	"	
1 dänische Tonne	= 139,112	"		1 lübeck. Scheffel	= 33,404	"	
1 spanische Cahiz	= 37,149	"		1 oldenburgische Tonne	= 178,230	"	
1 portugies. Moyo	= 813,93	"		1 königl. sächsischer Scheffel	= 107,434	"	
1 badischer Malter	= 130,00	"		1 würtembergisch. Scheffel	= 177,226	"	
1 bairischer Scheffel	= 222,337	"					

VIII. Tafel der Flüssigkeitsmaße.

1 englischer Gallon	= 4,542	Liter		1 braunschweig. Orhoft	= 224,8423	Liter	
1 österreichischer Eimer	= 58,013	"		1 bremischer Ohm	= 142,783	"	
1 preuß. Orhoft	= 206,106	"		1 frankfurter Ohm	= 143,418	"	
1 russischer Wedro	= 12,693	"		1 hamburger Ahm	= 144,806	"	
1 schwedischer Ahm	= 157,103	"		1 hannöversch. Ahm	= 135,517	"	
1 schwedische Kanne	= 2,618	"		1 großh. hessischer Ohm	= 160,000	"	
1 dänische Ohm	= 149,733	"		1 kurf. hessischer Ohm	= 159,357	"	
1 spanische Cantaro	= 15,75	"		1 lübeckischer Ahm	= 144,803	"	
1 portug. Tonelada	= 870,580	"		1 nassauischer Ohm	= 135,574	"	
1 badische Ohm	= 150,000	"		1 königl. sächsischer Eimer	= 69,4305	"	
1 bairischer Eimer	= 64,141	"		1 würtembergischer Eimer	= 293,927	"	

IX. Tafel zur Vergleichung der Gewichtseinheiten. (Mit Beifügung der Logarithmen.)

Französische (niederländische) Kilogramm	Englische Pfund a. d. p. (amerik. Pfund)	Russisches Pfund	Schwedisches Skalpund	Dänisches (norwegisches) Pfund	Spanische Libra	Oesterreichisches Pfund	Preuß. (hannöv., braunschw., kurhessisches) Pfund
1	2,204597 0,3433293	2,441883 0,3877249	2,351063 0,3712643	2,002768 0,3016306	2,173307 0,3371610	1,785675 0,2518025	2,138072 0,3300224
0,4535976 9,6566707	1	1,107632 0,0443956	1,066437 0,0279350	0,9084307 9,9583014	0,9858972 9,9938317	0,8099781 9,9084733	0,9698245 9,9866932
0,4095200 9,6122751	0,9028266 9,9556044	1	0,9628074 9,9833394	0,8201735 9,9139057	0,8900944 9,9491361	0,7312698 9,8640776	0,8755834 9,9422975
0,4253395 9,6287357	0,9377023 9,9720650	1,038629 0,0164606	1	0,8518563 9,9303663	0,9244782 9,9658967	0,7595183 9,8803382	0,9094066 9,9587581
0,4993090 9,6983694	1,100775 0,0416986	1,219254 0,0860943	1,173907 0,0696337	1	1,085231 0,0355304	0,8916038 9,9501719	1,067559 0,0283918
0,4600860 9,6628390	1,014304 0,0061683	1,123476 0,0505639	1,081689 0,0341033	0,9211452 9,9641696	1	0,8215642 9,9146415	0,9836975 9,9928614
0,5600122 9,7481975	1,234601 0,0913267	1,367484 0,1359224	1,316624 0,1194618	1,121574 0,0498281	1,217191 0,0853585	1	1,197347 0,0782199
0,4677110 9,6699776	1,031114 0,0133068	1,142096 0,0577023	1,099618 0,0412419	0,9367166 9,9716082	1,016573 0,0071386	0,8351800 9,9217801	1

Baden 1 Pfd. = 0,50000 Kilogr.
9,6989700 =

Baiern 1 Pfd. = 0,56000 =
9,7481880 =

Bremen 1 Pfd. = 0,49873 =
9,6978653 =

Frankfurt a. M. Lg. 1 Pfd. = 0,467914 =
9,6701660 =

Hamburg 1 Pfd. = 0,48432 =
9,6851324 =

Hessen, Ghzth. 1 Pfd. = (wie Baden)

Lübeck 1 Pfd. = 0,48431 Kilogr.
9,6853027 =

Mecklenburg Schw. 1 Pfd. = 0,50854 =
9,7063251 =

Nassau 1 Pfd. = 0,470686 =
9,6727313 =

Oldenburg 1 Pfd. = 0,480367 =
9,6815732 =

Sachsen, Königr. 1 Pfd. = (wie Baden)

Würtemberg 1 Pfd. = 0,4677280 Kilogr.
9,6699933 =

Portugal Arratel = 0,45892 =
9,6617370 =

Deutsches Medicinal-Pfd = 0,3578540 =
9,5537059 =

W. S.

Maßanalyse, Titrirmethode, dosages à liqueurs titrées oder à la voie humide. In den wenigen Jahren seit dem Drucke des Art. Analyse (Bd. I. S. 154) hat sich die Titrirmethode eine solche Geltung verschafft, daß wir sie hier nicht übergehen können. Während bei den bis jetzt gebräuchlichsten quantitativen Bestimmungen das Endresultat vermittelst der Wage, also durch das Gewicht, gefunden wird, kann man bei den Maßanalysen die Ergebnisse der Untersuchung sehr leicht aus den verbrauchten Raumtheilen der Reagentien berechnen. Leicht in die Augen fallende Erscheinungen zeigen hierbei an, daß man mit dem Zusatz der Reagentien (der Maß- oder Probeflüssigkeit) aufzuhören habe.

Begründet wurde diese Methode zuerst in Frankreich. Wenn auch die Vortheile, die sie gewährt und die in einer bedeutenden Ersparniß an Zeit und Mühe bestehen, während die Genauigkeit der Resultate darunter nicht im Geringsten leidet, sogleich in die Augen fielen, so standen ihrer Einführung in das praktische Leben doch bedeutende Schwierigkeiten gegenüber. Am meisten wurde der Techniker, für den diese Methode der Analyse vorzüglich bestimmt ist, durch die große Menge der Probeflüssigkeiten und deren verschiedene Stärke von ihrer Anwendung zurückgehalten. Geraume Zeit hindurch fand die Maßanalyse nur in einzelnen Fällen, z. B. der Acidimetrie (Bd. I. S. 102) und Alkalimetrie (Alkalimeter Bd. I. S. 137) Verwendung. Es half wenig, daß H. Schwarz*) alles über diesen Gegenstand in verschiedenen Zeitschriften zerstreut Erschienene sammelte. Die schnellen Fortschritte der Wissenschaft brachten stets neue Methoden, so daß sich der Kreis der Stoffe, auf welche die Maßanalyse anzuwenden ist, ansehnlich erweiterte, aber auch dies reichte nicht aus, um die Scheu der Techniker zu überwinden. Was auf der einen Seite an Arbeit erspart wurde, ging auf der anderen durch den schon erwähnten Umstand wieder verloren.

Heute aber stehen die Sachen anders. Das Verdienst, diese Umwandlung hervorgebracht zu haben, gebührt deutschen Chemikern. Zuerst war es Bunsen**), der eine in Bezug auf die Maßanalysen Epoche machende Arbeit veröffentlichte, durch die er bald anderen Forschern (Streng***) und Mohr) Gelegenheit gab Verbesserungen einzuführen, die in sofern für die Technik von großer Wichtigkeit sind, als dadurch die Ausführung der Analysen leichter und das Resultat sicherer gemacht worden ist. Durch die Bemühungen dieser Männer sind die Maßanalysen das werthvollste Geschenk geworden, welches die Chemie der Agrikultur, Physiologie, Technologie und Hüttenkunde, also so zu sagen dem Leben und der Menschheit überhaupt machen konnte, wodurch aber keineswegs die bisher übliche quantitative Untersuchungsmethode ihren Werth verloren hat.

Mohr hat weiter das Verdienst, daß er die verwirrende Masse der einzelnen Bestimmungen gesammelt, kritisch gesichtet und übersichtlich zusammengestellt hat****). Dadurch hat er die Forschungen der Wissenschaft in das praktische Leben eingeführt und sie der Technik nutzbar gemacht. Der Zusammenstellung des Alten hat er aber auch selbstständig viel Neues hinzugefügt und namentlich in

*) Ueber die Maßanalysen. Braunschweig 1830.

**) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXXVI. S. 265: diese Abhandlung ist auch besonders erschienen.

***) Pogg. Ann. Bd. XCII. S. 37.

****) Lehrbuch der chemisch-analytischen Titrirmethode. Erste Abthlg. Braunschw. 1855.

Bezug auf die Instrumente macht sich sein bekanntes praktisches Talent wieder geltend. Die einzelnen Methoden sind auf eine solche Einfachheit zurückgeführt, daß selbst jeder Geschäftsmann, der der Wissenschaft dringend bedarf, aber ihr doch wenig Aufmerksamkeit schenkt, die Lehren derselben sich praktisch nutzbar machen kann. Die Untersuchungen können selbst im Laufe einer technischen Operation, auf die sie einen großen Einfluß ausüben, durchgeführt werden, ohne darauf störend einzuwirken. Von wie großer Wichtigkeit die Maßanalyse für den praktischen Chemiker, den Arzt, Pharmaceuten, Berg- und Hüttenmann, Fabrikanten, Agronomen, Metallurgen, Münzbeamten ꝛc. ist, wird die Aufzählung einiger Analysen: des Braunsteins, der Eisenerze, der Schlacken, die Bestimmung des Bleies, des Kupfers, Kobalts, Nickels, Chlorkalks, der Soda, Pottasche, des Kalks und Mergel und der Brunnenwasser, der Säuren und des Zuckers im Most und anderen Fruchtsäften, die Untersuchung des Harnes, die Bestimmung des Zuckers darin ꝛc. beweisen.

Die Maßanalysen zerfallen im Wesentlichen in Sättigungsanalysen (Alkalimetrie und Acidimetrie), Oxydations- und Reductionsanalysen und Fällungsanalysen. Die ersteren sind durch Gay-Lussac, die zweiten durch Marguerite, Bunsen, Streng und Mohr und die letzten durch Liebig begründet worden. Als Grundlage der Acidimetrie dient nach Mohr die krystallisirte Kleesäure und demnächst kohlensäurefreies Aetznatron und reine Salpetersäure, die mit der Kleesäure gleichwerthig sind. Beurtheilt wird die Probe nach der sichtbaren Farbenveränderung, welche gewisse organische Farbstoffe (die Auszüge von Lackmus, Fernambuk- und Campecheholz) durch Säuren oder Alkalien erleiden. Unter den Oxydationsmitteln nimmt das saure chromsaure Kali den ersten Rang ein; dann folgt die Jodlösung in Jodkalium und das überchromsaure Kali (Chamäleon), das trotz seiner sonstigen Mängel doch wegen seiner hohen oxydirenden Kraft ein werthvoller Stoff ist. Die schönste und sichtbarste Erscheinung bei Oxydationsanalysen ist das Hervortreten der blauen Farbe der Jodstärke. Bei den Reductionsanalysen darf diese Erscheinung erst eintreten, wenn das Reductionsmittel vollständig oxydirt ist; diese müssen also im Stande sein, die blaue Farbe der Jodstärke zu zerstören. Dies thun am besten die schweflige Säure und das Zinnchlorür. Die Oxydations- und Reductionsanalysen geben ein Mittel ab, eine große Menge von Stoffen mit der schärfsten Genauigkeit auf leichte Weise quantitativ zu bestimmen. Die hier zur Anwendung kommenden Reagentien sind: das überchromsaure Kali gegen schwefelsaures Eisenoxydul-Ammoniak oder Kleesäure, doppelt chromsaures Kali und Zinnchlorür (nach Streng für die meisten Fälle anwendbar), schweflige Säure und Jodlösung (nach Bunsen) und arsenigsaures Natron und Jodlösung (nach Mohr, bei alkalischen Flüssigkeiten, Chlorkalk, Chlornatrium und Jod). Bei den Fällungsanalysen gewährt die Bildung eines Niederschlages am Ende der Operation größere Sicherheit als das Aufhören der Bildung eines solchen. In Bezug auf den letzteren Fall eignen sich nur wenige Stoffe zu dieser Bestimmung; nur solche, deren Niederschlag sich leicht absetzt oder zusammenballt.

Weiter haben wir bei den Maßanalysen zwei verschiedene Methoden zu unterscheiden: die directe Bestimmung und die Restmethode. Die erstere ist wohl der Theorie nach die sicherste, aber sie läßt sich doch nur in sehr wenigen Fällen anwenden, weil nur bei sehr wenigen der zu untersuchenden Körper am Ende der Operation eine deutlich in die Augen fallende Erscheinung hervortritt oder auf leichte Weise,

ohne das Ergebniß der Forſchung zu beeinträchtigen, hervorgerufen werden kann. Bei der Reſtmethode ſetzt man ſolchen Stoffen, die aus dem angegebenen Grunde nicht direct beſtimmt werden können, einen beſtimmten Ueberſchuß der Reagentien zu und bewirkt dadurch eine leicht wahrnehmbare Erſcheinung. Der Ueberſchuß läßt ſich leicht quantitativ beſtimmen und dadurch erfährt man auch die Menge der wirklich verbrauchten Subſtanz, aus der das Reſultat der Unterſuchung berechnet wird.

Nach Mohr haben die Probeflüſſigkeiten zwei beſtimmte Grade der Stärke. Das Litre enthält entweder 1 Atom, d. h. die Zahl der Grammen des kleinſten Atomgewichts, oder $^1/_{10}$ Atom der wirkſamen Subſtanz. Nach dem Ende der Analyſe braucht man daher nur die Zahl der verbrauchten Kubikcentimeter Probeflüſſigkeit mit dem tauſendſten oder zehntauſendſten Theile eines Atoms einer Subſtanz zu multipliciren, um das Grammengewicht derſelben Subſtanz zu erfahren. Dieſe Berechnungen werden, eben ſo wie die der gewöhnlichen quantitativen Analyſe, durch Tabellen erleichtert, ſo daß eine einfache Addition das Endreſultat angiebt. — Den Gehalt von veränderlichen Flüſſigkeiten, z. B. beim überchromſauren Kali, dem Zinnchlorür ꝛc., beſtimmt man kurz vor dem Gebrauche. Die verſchiedenen Probeflüſſigkeiten kann man auf dem Wege des Handels aus den chemiſchen Fabriken von Kugler und Lehmann in Offenbach a. M. und von Friedrich Rienhaus und Comp. bei Coblenz beziehen.

Wir müſſen uns hier auf dieſe Andeutungen beſchränken. Wer ſich über die Maßanalyſe genauer unterrichten oder ſie in Anwendung bringen will, den verweiſen wir auf das angeführte Werk von Mohr. W. B.

Maſſe. Unter der Maſſe eines Körpers denkt man ſich gewöhnlich die Quantität der Materie, aus welcher er beſteht, ohne daß man dabei auf ſeine ſonſtige Beſchaffenheit Rückſicht nimmt. Die Maſſe bezieht ſich auf den Grad der Raumfüllung eines Körpers, ſo daß dieſer um ſo dichter iſt, je mehr Maſſe er im Vergleich zu einem anderen Körper von gleichem Volumen beſitzt. (S. Bd. III. Art. Gewicht, ſpecifiſches S. 546 ff.)

Wenn ein bewegter Körper mit einer gewiſſen Geſchwindigkeit auf einen ruhenden trifft, ſo muß ſich dieſe Geſchwindigkeit in dem geſtoßenen Körper vertheilen, bis beide Körper eine gemeinſchaftliche Geſchwindigkeit erlangt haben, die von der Maſſe des letzteren Körpers abhängig iſt. Da die Einwirkung, welche zwiſchen beiden Körpern während des Stoßes ſtattfindet, ſich von den unmittelbar getroffenen Theilchen des zweiten Körpers durch alle Schichten ſeiner Maſſe von Theilchen zu Theilchen fortpflanzen muß, ſo wird die Geſchwindigkeit des getroffenen Körpers um ſo kleiner ausfallen, je größer ſeine Maſſe iſt; ſie muß mit der letzteren im umgekehrten Verhältniſſe ſtehen. Zwei Körper nun, die keine ſehr merkliche Elaſticität beſitzen, werden ſich zur Ruhe bringen, wenn ſie ſich in entgegengeſetzten Richtungen ſtoßen und ihre Maſſen im umgekehrten Verhältniſſe der Geſchwindigkeiten ſtehen, womit ſie ſich begegneten. Die Bedingung des Gleichgewichts beim centralen Stoße iſt deshalb die Gleichheit ihrer ſogenannten Bewegungsgrößen, oder die Gleichung $mc = m'c'$, wenn m und m' ihre Maſſen und c, c' ihre Geſchwindigkeiten bezeichnen. Der Stoß würde hiernach das directeſte Mittel darbieten, die Maſſe der Körper zu beſtimmen, falls es nur überhaupt ausführbar wäre. Man brauchte nämlich nur allen Punkten eines Körpers, deſſen

Masse als Einheit angenommen wird, eine bekannte Geschwindigkeit c mitzutheilen. Könnte man dann die Geschwindigkeit c' genau bestimmen, welche alle Theilchen eines anderen Körpers haben müßten, damit dieser dem ersten das Gleichgewicht hielte, wenn er denselben in einer Richtung, die dessen Bewegung entgegengesetzt ist, träfe, so wäre der Werth der zweiten Masse $\frac{c}{c'}$.

Das bequemste Mittel, von dem man auch Gebrauch macht, um die Massen verschiedener Körper zu bestimmen, ist die Gewichtsbestimmung derselben. Das Gewicht eines Körpers ist nämlich seiner Masse proportional (Art. Gewicht, Bd. III. S. 541 ff.), so daß die Massen verschiedener Körper sich wie ihre Gewichte verhalten, woraus die Bestimmung der Masse ohne Weiteres folgt.

Materie.

I. Historisches.

So sicher und klar die materiellen Außendinge für die sinnliche Anschauung erscheinen, so schwierig ist es für die Reflexion und das Denken, ihr Wesen oder die Natur des Materiellen überhaupt zu bestimmen. Wenn man von allen quantitativen und qualitativen Unterschieden der Dinge absieht, so bleibt immer noch als gemeinschaftliche Eigenthümlichkeit derselben die Raumerfüllung übrig, und man erklärt hiernach die Materie im Allgemeinen als das Reale, welches den Raum erfüllt und in ihm beweglich ist. Indessen hat man damit nur eine Namenerklärung aufgestellt, die uns über die Natur dessen, was den Raum einnimmt, und über die Art, wie dies geschieht, gänzlich im Dunkel läßt. Die Fragen hierüber und die Versuche, sie zu beantworten, sind, so wie der Begriff der Materie selbst, Producte des Denkens, das über die nackte Thatsache der sinnlichen Wahrnehmungen mit Nothwendigkeit hinausgetrieben ward. Den geschichtlichen Verlauf der betreffenden Bemühungen wenigstens der Hauptsache nach kennen zu lernen, ist kein entbehrlicher Luxus. Man wird vielmehr dadurch aufgeklärt, worin das Räthsel der Materie besteht, und was die Wissenschaft zu leisten hat, um das räumlich Existirende zu begreifen und eine allseitig genügende, wohlbegründete Ansicht über das Wesen der Materie zu geben. Man lernt die Wege kennen, die man bereits eingeschlagen hat, jenes Räthsel zu lösen, und man wird in den Stand gesetzt, besser zu beurtheilen, wie weit man etwa noch vom Ziele entfernt ist. Daher wird eine kurze geschichtliche Darstellung der Hauptansichten über das Wesen der Materie dem Zwecke dieses Wörterbuchs entsprechend sein. Manche unter ihnen, die nur aus einer sehr unvollständigen Auffassung des Gegebenen hervorgehen konnten, nehmen sich freilich wunderlich genug neben dem Reichthum der heutigen Naturkenntnisse aus, der durch fortgesetzte Beobachtungen und Versuche und durch ein darauf sich stützendes Denken gewonnen ist. Dennoch können auch solche Ansichten ein gewisses culturhistorisches Interesse haben, während andere dadurch bedeutungsvoll sind, daß sie entschieden auf die eigentlichen Schwierigkeiten im Begriffe der Materie hindeuten.

Auf dem Standpunkte der reflexionslosen Anschauung macht man unbewußt die Voraussetzung, nicht nur daß die Dinge um uns her *sind*, sondern daß sie auch *so* sind, *wie* sie sich der sinnlichen Wahrnehmung darbieten. Die erste Störung dieses kindlichen Glaubens wird herbeigeführt, wenn man bemerkt, daß sich die Sinnendinge verändern, ja, daß sie scheinbar ganz vergehen und neu

entſtehen. Die Veränderung trifft aber nicht alle Eigenſchaften gleichmäßig, ſondern einige ſind beſtändiger und erſcheinen in dem Wechſel häufiger wieder, als andere, ſo daß ſie in den Reihen der Veränderungen wie immer wiederkehrende Anfangspunkte ſich hervorheben. Durch dieſes Schauſpiel angeregt, ſtellte ſich Thales die Frage: woraus ſind alle Dinge geworden und worin endigt alle Veränderung? Auf Grund einiger wenigen, jedenfalls allzubeſchränkten Beobachtungen gab er als den Anfang aller Dinge das Waſſer an, Anaximenes dagegen die Luft: aus ihnen ſollte durch Verdünnung und Verdichtung aller Wechſel der Dinge entſtehen. So würde alſo das Waſſer oder die Luft als ein Etwas zu denken ſein, das ſeinem Weſem nach daſſelbe bleibt, während nur ſeine Zuſtände wechſeln, und das durch den Wechſel in letzterer Beziehung die Mannichfaltigkeit und die Veränderungen der Dinge begründet. Mit einem Worte, Thales wie Anaximenes dachten ihr Grundweſen als Element: ſie haben dieſen Begriff zuerſt erzeugt. Allein ſowohl die von Thales als auch von Anaximenes angegebene Beſchaffenheit des Elementes fällt ſelbſt in die Reihe der Veränderungen der Sinnendinge: ihr Vorrecht vor jeder andern ſinnlich wahrnehmbaren Beſchaffenheit iſt nicht begründet; mit demſelben Recht dürfte auch jede andere als die wahre Qualität des Elementes angeſehen werden. Daraus folgt, daß das den Veränderungen zu Grunde liegende Weſen keine von allen ſinnlich wahrnehmbaren Beſchaffenheiten beſitzen darf, ſondern gleichſam zwiſchen allen ſchweben muß als ein qualitativ Unbeſtimmtes, das aber alle beſtimmten, ſinnlich wahrnehmbaren Beſchaffenheiten annehmen kann. Das iſt der Sinn des Unendlichen, oder deutlicher überſetzt, des Unbeſtimmten bei Anaximander, worunter er nicht mehr ein Element verſtand, ſondern den reinen Stoff, der ſelber ohne jegliche beſtimmte Qualität iſt, aus dem ſich aber alles ſinnlich Wahrnehmbare mit ſeinen mannichfaltigen beſtimmten Beſchaffenheiten durch Ausſcheidung bilden ſoll. Dieſe Anfänge des Theoretiſirens ſind ein ſprechender Beleg dafür, daß die Anſchauung nur ganz allmälig mit Producten des Denkens verſetzt wurde, und daß dieſes Denken anfänglich ſich in kleinen, unſicher taſtenden Schritten bewegte. Man nahm an der Veränderung der Dinge Anſtoß, und ſuchte das, was als Bleibendes dem Begriffe des Seienden beſſer entſpricht und dem Veränderlichen als immer Beharrendes zu Grunde liegt. Um aus einem ſolchen doch auch die gegebenen Veränderungen zu erklären, beſchränkte man den Wechſel auf ſeine Zuſtände, gerieth aber damit unverſehens erſt recht tief in die Vorſtellungsweiſe, die man vermeiden wollte, hinein. Man fragte nämlich noch nicht darnach, was die Umwandlung des Elementes oder Stoffes veranlaſſe, d. h. man hatte den Begriff der verändernden, bewegenden Kraft noch nicht erzeugt, ſondern mußte annehmen, daß die Umwandlung zur Natur des Elementes oder Stoffes gehöre. Dieſer Gedanke wurde jedoch erſt zum vollkommen klaren Bewußtſein erhoben und beſtimmt ausgeſprochen durch Heraklit, da er alle Beharrung, alles Sein für Sinnestäuſchung anſah, dagegen die Veränderung, das Werden für die wahrhafte Natur des Realen, für etwas Urſprüngliches erklärte. Die allgemeine Veränderung drückte er mit dem Bilde aus, daß Alles fließt, und mit dem widerſprechenden Begriffe, daß Alles zugleich iſt und nicht iſt. Demzufolge würden zu den Veränderungen der Dinge keine Urſachen oder ſie bewirkende Kräfte zu ſuchen ſein, ſondern das Sich verändern oder Werden iſt ohne Bedingung und Urſache, es iſt abſolut. Um dieſem abſtrakten Begriffen die Haltung der ſinnlichen Vorſtellung zu

geben, brauchte Heraklit das Feuer als ſinnlich wahrnehmbares Zeichen oder Symbol der abſoluten Veränderung und Bewegung, da es vor Allem der Natur eines urſprünglich und unaufhaltſam Beweglichen am nächſten zu kommen ſcheint. Für den Zweck dieſes Artikels iſt es genug, anzudeuten, daß aus dem Grundbegriffe des abſoluten Werdens eine einzige anfangs- und endloſe Reihe von Veränderungen von gleicher Richtung und Geſchwindigkeit, ohne Abſatz und ohne Wiederholung folgt, daß aber die in der Erfahrung gebotenen Veränderungen nicht ſo beſchaffen ſind, und daß deshalb Heraklit ſelbſt genöthigt war, ſeinem Gedanken die Conſequenzen abzubrechen und anzunehmen, die Natur entwickele ſich anders als der Geiſt, und im Werden liege ein urſprünglicher Gegenlauf der Bewegungen, wodurch gegenſeitige Hemmung und vermittelſt derſelben der Schein eines dauernden Beſtehens herbeigeführt würde.

Während ſonach die genannten Joniſchen Phyſiologen damit endigten, das wahrhaft Exiſtirende lediglich als ein Veränderliches oder Werdendes zu denken, und die Ausdehnung oder Materialität der Dinge noch gar nicht in Betracht zogen, ſtellten dagegen die Eleatiſchen Philoſophen den Begriff des Seins mit Schärfe und Entſchiedenheit an die Spitze, und brachten auch die Frage nach dem räumlich Exiſtirenden in Anregung und Verhandlung. Das Sein, lehrten ſie, iſt einfach, untheilbar, eines, unveränderlich, ſich ſelbſt gleich und nur im Denken zu erfaſſen. Alles, was ein Anderswerden zeigt, wie die ganze Welt der uns umgebenden Dinge, iſt Nichtſeiendes, iſt nur Schein und Trug. Nur das Sein iſt. An dieſem Begriffe hielten ſie ſo conſequent feſt, daß ſie ſeinetwegen die ganze Sinnenwelt als Trug verwarfen und darauf verzichteten ſie zu begreifen. Um nun dieſer mit der Erfahrung geradezu brechenden Lehre von der Einheit und Einfachheit des Seins mehr Eingang zu verſchaffen und ſie zu befeſtigen, zeigte Zeno von Elea mit vielem Scharfſinn, daß die Annahme einer Vielheit von veränderlichen, beweglichen und ausgedehnten Dingen zu Widerſprüchen führe. Dieſe Auseinanderſetzungen kennen wir leider nur fragmentariſch: glücklicherweiſe aber diejenigen vollſtändig genug, die die Ausdehnung der Dinge betreffen, und an dieſem Orte vorzüglich intereſſiren. Wenn man die Dinge als ausgedehnte und theilbare faßt, und ihre Beſtandtheile durch Theilung ſuchen und nachweiſen will, ſo wird man durch Zeno's Dialektik entweder auf das Nichts getrieben oder auf das Unendliche. Das Ausgedehnte wird gedacht als ein Vieles, das aus Theilen beſteht, das alſo nothwendigerweiſe auch letzte Beſtandtheile haben muß. Wenn nun irgend ein Körper getheilt wird, und man behauptet, man habe (wenn auch nur in Gedanken oder dem Begriffe nach, nicht durch wirklich ausgeführte Theilung) die letzten Beſtandtheile erreicht, ſo muß jeder derſelben einfach ſein. Was aber einfach iſt, hat keine Größe: zu einem anderen hinzugefügt, macht es daſſelbe nicht größer, von ihm hinweggenommen, nicht kleiner; es iſt deshalb das vorgebliche Einfache, woraus das Viele beſtehen ſoll, Nichts. Will man dagegen, um dieſer Ungereimtheit zu entgehen, jenem vermeintlichen Letzten noch eine Größe belaſſen, ſo hätte es auch Theile, dieſe Theile hätten dann wiederum eine Größe, folglich wieder Theile und ſo ins Unendliche. Darnach müßte jeder kleinſte Körper unendlich viele, immer noch ausgedehnte Theil enthalten, alſo vielmehr unendlich groß gedacht werden, was ſich ebenfalls widerſpricht. Hiermit hat Zeno zuerſt die Schwierigkeiten entdeckt und bloßgelegt, die in der That im Begriffe der Materie als eines räumlichen Realen eingeſchloſſen ſind. Zu

ihrer Ueberwindung oder Entfernung machte er selbst keine Anstrengungen, sie sollten ihm ja blos dazu dienen, die eleatische Lehre von der Einheit und Untheilbarkeit des lediglich denkbaren Seins indirect zu rechtfertigen. Allein er hatte damit neben die Veränderung einen zweiten Ausgangspunkt gestellt und den Denkern eine zweite Aufgabe gegeben, nämlich die Körperlichkeit der Dinge zu begreifen und ohne Widersprüche zu denken. Denn zu der Resignation der Eleaten, die nur mit einem einzigen einfachen Begriffe sich begnügte und die ganze Erfahrung als Trug bei Seite ließ, konnten sich selbstredend nur Wenige verstehen. Das Denken schlug neue und weitere Wege ein, um die Räthsel zu lösen, die von der Erfahrung unabläßig in derselben Weise aufgegeben werden. Man erkannte zuvörderst, daß aus dem wahrhaft Einen nie ein Vieles werden kann, und kam so wieder zu dem richtigen Satze, daß Vieles ist. Dabei hielt man jedoch andererseits fest, was die Eleaten gelehrt hatten, daß ein seine Qualität änderndes Seiendes ein Widerspruch, eine Unmöglichkeit ist, und dies trieb zu dem Versuche, alle in der sinnlichen Erfahrung gegebenen Veränderungen auf bloße Ortsveränderung, auf Bewegung zurückzuführen. Dies waren die gemeinschaftlichen Ansichten der sogenannten jüngern Jonischen Physiologen, an die sich dann bei den einzelnen einige Verschiedenheiten der Lehre anschlossen. Empedokles nahm viererlei Seiendes an, nämlich die vier Elemente, die er zuerst lehrte, indem er die Erde zu den übrigen schon vor ihm angenommenen hinzufügte; jedes einzelne bezog er aber noch auf Paare von Gegensätzen, das Feuer auf das Heiße und Trockne, die Luft auf das Heiße und Nasse, das Wasser auf das Kalte und Nasse und die Erde auf das Kalte und Trockne. Im Uebrigen dachte er die Masse jedes Elementes als theilbar und diese Theile als beweglich, über die Grenze der Theilbarkeit jedoch und die Form der kleinsten Theile bestimmte er nichts. Dagegen bezeichnete er die Art der Bewegung als Zusammenmischung und Entmischung, die Bewegung selbst faßte er aber nicht als etwas Ursprüngliches, sondern als die Wirkung von zwei verschiedenen Ursachen, die er Haß und Freundschaft nannte. So war Empedokles der erste, der dadurch, daß er den Begriff der Kraft erzeugte, wodurch der qualitativ unveränderliche und an sich selbst regungslose Stoff der Elemente in Bewegung gesetzt wird, den Grund zu der rein mechanischen Naturbetrachtung legte. Im Gegensatze hierzu lehrte Anaxagoras, der göttliche Verstand sei die einzige bewegende, ordnende, über den Stoff erhabene Kraft: er ist somit der Urheber der teleologischen Naturansicht, die zur Naturerklärung den Begriff des Zweckes oder die Intelligenz als Ursache heranzieht. Auch ließ Anaxagoras die Empedokleischen Elemente nicht als solche gelten, sondern nahm andere und zwar unbestimmt viele Elemente an, deren gleichartige Theile er Homöomerien nannte; diese Homöomerien dachte er als unendlich klein und sinnlich nicht wahrnehmbar, obwohl von allen möglichen verschiedenen Gestalten. Hiernach ließ es sich Empedokles wie Anaxagoras angelegen sein, vor Allem den von den Eleaten hervorgehobenen und geschärften Begriff des Seienden festzuhalten und außerdem die Qualität desselben zu bestimmen. Auch berücksichtigten beide die Ausdehnung des Realen, aber auf eine eigentliche Lösung der von Zeno darin gefundenen Schwierigkeiten ließen sich ausdrücklich erst die sogenannten Atomisten Leukipp und Demokrit ein, von denen der erstere ein Schüler des Zeno gewesen sein soll. Sie lehrten wie Anaxagoras, daß unbestimmt Vieles sei, die Qualität dieser Wesen sei aber keine sinnlich bekannte,

überhaupt keine angebbare, doch müſſe ſie als eine gleiche, als eine und dieſelbe für alle gedacht werden. Um aber den Zenoniſchen Widerſprüchen zu entgehen, müſſe man annehmen, jedes Weſen habe eine beſtimmte, aber ihrer Kleinheit wegen unangebbare, unſichtbare Größe; in Bezug auf dieſe ſei und bleibe es aber ſtets ganz, unveränderlich, untheilbar, weshalb es mit dem Namen Atom zu bezeichnen ſei. Die Geſtalt und Größe der Atome ſoll verſchieden ſein; alle Atome ſind aber gleich voll und dicht, abſolut hart und undurchdringlich, daher ſie verſchiedene Schwere beſitzen ſollen. Im Gegenſatz gegen ſie als die feſten und vollen Seienden dachten die Atomiſten den Raum als das Leere, darum Nichtſeiende, aber dennoch Vorhandene. In dieſem Raume ſollen dann die Atome wegen ihrer Schwere urſprünglich ſich bewegen, und durch ihr Zuſammentreffen, ihre Vermengung und Trennung die Dinge und den Schein ihres Entſtehens und Vergehens, des Thuns und des Leidens hervorbringen. Die Unterſchiede der Atome rückſichtlich ihrer Geſtalt, ihrer Anordnung, ihrer Lage und Stellung im Raume ſind die einzigen, die in Betracht kommen können, und es iſt ſoweit alles auf quantitative Verhältniſſe und auf mechaniſche Gründe zurückzuführen. Dabei wurde angenommen, daß die zuſammengelagerten Atome ſtets noch durch leere Zwiſchenräume von einander getrennt, daß alſo alle gegebenen Körper porös wären. Für das Feuer und die Seelen nahm man kugelförmige Atome an, weil dieſe am leichteſten durch Alles hindurchdringen könnten. An dieſen Grundlehren der Atomiſtik änderte Epikur faſt nichts, außer daß er die Atome behufs des Zuſammentreffens zu unbeſtimmten Zeiten und an unbeſtimmten Orten von der ſenkrechten Richtung ihrer natürlichen Bewegung um ein unendlich Kleines abweichen ließ, und zu ihnen noch körperliche Götter hinzufügte, die aber keine Einwirkung auf die Dinge ausüben, alſo der Herrſchaft der mechaniſchen Nothwendigkeit und des Zufalls keinen Abbruch thun ſollten.

Dieſer erſte Verſuch, die Materie zu begreifen, ging alſo von der gegebenen Ausdehnung der Sinnendinge aus, und faßte die letzten Beſtandtheile derſelben, das wahrhaft Reale durch den Hauptbegriff des Seins. Dagegen kam das Philoſophiren auch von ſeinem erſten Ausgangspunkte, der Veränderung der Dinge, zu einem Begriffe der Materie, aber ſo, daß dann auch die Veränderung, das Werden das Hauptmerkmal blieb. Im Alterthum ſind es Plato und Ariſtoteles, die im Anſchluß an Anaximander auf dieſem letzteren Wege ihre Anſicht von der Materie ausbildeten. Nichtsdeſtoweniger ſah Plato vollkommen deutlich ein, daß die qualitative Veränderung etwas Widerſprechendes iſt, weil man in ihr Sein und Nichtſein, Entgegengeſetztes als Eins denken muß. Eben deshalb ließ er auch das ſinnlich Wahrnehmbare nicht als wahrhaft Seiendes gelten, ſondern das letztere könne als ein Unveränderliches, Sichſelbſtgleichbleibendes nur im Denken erkannt werden. Sieht man nun von dem Umſtande ab, daß die Beſchaffenheiten der Dinge ſich in den vielen einzelnen Dingen bald ſo bald anders darſtellen, d. i. dem Wechſel in näheren Beſtimmungen unterworfen ſind, faßt man ſie dagegen in unveränderlichen Begriffen auf als etwas Unſinnliches und Unwandelbares, ſo ſind dieſe wandellos gedachten überſinnlichen Qualitäten der Dinge, und in weiterer Ausdehnung auch die Arten und Gattungen der Dinge das wahrhaft Seiende, welches Plato die Ideen nennt. Dieſer Vielheit der Seienden ſtellt er jedoch zur Erklärung der gegebenen veränderlichen Sinnenwelt den Anaximandriſchen Stoff, den Ariſtoteles zuerſt Hyle nannte, als Sitz der Veränderungen

gegenüber. Er ist gleichsam das unbehauene Bauholz, das Rohmaterial, aus dem Gott, der Gute, die Sinnendinge bildet. Die Ideen werden aber bei der Weltbildung nicht mit dem Stoffe gemischt, nicht in ihn hineingebildet, sondern Gott schaut nur wie ein Künstler die immer für sich bleibenden Ideen mit Geistesaugen an und bildet nach ihnen als Musterbildern die unvollkommen entsprechenden Sinnendinge: die Ideen sind und bleiben außerhalb der räumlichen Sinnenwelt. Plato fing daher zuerst an, den an sich qualitätslosen Urstoff der Sinnenwelt dem Raume gleichzusetzen, wodurch der Begriff des bloßen Stoffes in den der Materie, die durch die Ausdehnung charakterisirt ist, übergeführt wurde. Wie er sie sich aber hinsichtlich der Realität vorstellen sollte, das brachte ihn in Verlegenheit. Wäre sie geradezu und gänzlich als ein Nichtseiendes zu denken, so könnte man unmöglich einen Begriff von ihr haben, und keinerlei Beitrag zur Erklärung der veränderlichen Sinnenwelt von ihr erwarten. Als seiend konnte er sie aber auch nicht denken; sonst wäre sie eine Idee und als solche unveränderlich und für die Erklärung der Veränderungen abermals unbrauchbar. Daher entschloß er sich zu dem Ungedanken, sie als ein Zwischending, als ein Mittleres zwischen Seiendem und Nichtseiendem zu fassen, war aber ehrlich genug, zu gestehen, daß er sich dabei eher wie ein Phantasirender und Träumender vorkomme, denn wie ein wahrhaft erkennender Philosoph. Mit einem Worte, es ist ihm nicht gelungen, eine widerspruchsfreie Erklärung der Veränderungen aufzufinden. Aristoteles war in einem viel ausgedehnteren Maße als Plato ein Mann der Thatsachen, und er hätte sehr gern die uns umgebenden materiellen Dinge so, wie sie uns erscheinen, geradezu für real erklärt, wenn ihn daran nicht theils die Erbschaft der über diesen reflexionslosen Standpunkt mehrfach hinausgeschrittenen philosophischen Lehren, theils sein eigenes logisches Verfahren gehindert hätte. Wenigstens suchte er den Sinnendingen einen ungleich größeren Antheil an der Realität zu vindiciren, als ihnen nach der Platonischen Lehre zukommt. Die Platonische Ansicht, als hätten die Ideen oder das Seiende nur Existenz außer und über den Dingen, und als seien diese letzteren nur Nachahmungen von jenen, verwarf er gänzlich. Das Ideelle oder Reale in höchster Instanz, was er Eidos oder Form nannte, setzte er vielmehr in die Dinge hinein, und mit der Materie geeinigt, so daß die Dinge Producte oder Ganze sind, zusammengesetzt aus Hyle und Eidos oder Materie und Form. Dabei nannte Aristoteles beide Factoren seiende, aber er nahm Sein nicht mehr in der metaphysischen Strenge der Eleaten und Plato's, sondern in der schwankenderen unbestimmten Bedeutung des gemeinen unphilosophischen Sprachgebrauchs, der Unselbstständigkeit und Veränderlichkeit nicht vom Sein ausschließt. Die Materie bezeichnete er nämlich als das der Möglichkeit nach, potentiell Seiende, die Formen als das der Wirklichkeit nach, aktuell Seiende. Die eine, wie die andere waren ihm Ursachen der sinnlichen Dinge, die Formen Ursachen der bestimmten Existenz und Individualität der Dinge, die Materie Ursache ihrer Veränderlichkeit, vermöge deren die Dinge entstehen und vergehen, ihre Eigenschaften, ihre Größe und ihren Ort wechseln. Die Materie ist als das Princip, welches dem Werden und der Veränderung der Dinge zu Grunde liegt (ὑποκείμενον), an sich unbestimmbar und unerkennbar: sie ist weder ein bestimmtes Ding noch eine Beschaffenheit, noch eine Größe, sondern nur das zu dem Genannten und seinem Gegentheil dem Vermögen nach Befähigte; sie ist nur die mögliche Körperlichkeit mit allen möglichen damit zusammenhängenden Prädikaten, ein Inbegriff von Ver-

mögen, die erſt noch auf die Kräfte warten, durch welche ſie in Wirklichkeiten übergeführt werden. Dieſes allem Veränderlichen zu Grunde liegende reale Mögliche, das nach dem Angeführten nicht etwas ſinnlich Wahrnehmbares iſt, nannte Ariſtoteles die erſte Materie im Unterſchied von dem einem beſtimmten Dinge zukommenden ſinnlich wahrnehmbaren Stoffe, der wie das Metall und das Holz im Verhältniß zur Statue und zum Stuhle eine abgeleitete, ſecundäre Materie iſt. Nach dem aufgeſtellten Begriffe liegt es nämlich in der Natur der erſten Materie, daß ſie als das Princip der Wandelbarkeit von ſelbſt ſchon, auch noch ohne auf ſie einwirkende formbildende Principien, in die Reihen ihrer Möglichkeit übergeht und fortſchreitet. Ariſtoteles ſah nun als die allgemeinſten Gegenſätze dieſer Möglichkeiten das Heiße und das Kalte, das Naſſe und Trockne an, und indem er daraus die bei Empedokles angeführten Combinationen bildete, ſah er darin die Principien und Urſachen der Empedokleiſchen Elemente, die er demnach ſchon als Erzeugniſſe des allgemeinen noch formloſen Elementarproceſſes der erſten Materie, als zweite Stufe der Materialität oder Körperlichkeit anſehen mußte. Dieſen Elementen ſchrieb er eigene natürliche Bewegungen zu: das Feuer bewegt ſich nach oben, die Erde nach unten, die Luft gleichfalls nach oben, aber weniger als das Feuer, und das Waſſer gleichfalls nach unten, aber weniger als die Erde. Nach Analogie kam dann Ariſtoteles noch darauf, auch für die andere Hauptbewegung, nämlich für die im Kreiſe, ein materielles Subſtrat zu ſetzen. Er nannte daſſelbe den Aether, und ließ aus dieſem fünften Elemente (quinta essentia), dem jede Veränderung außer der ſtetigen Kreisbewegung abgeht, den Himmel und die Fixſterne, wie ſie materiell ſind, beſtehen. So entſteht durch den Elementarproceß alle ſtoffliche Maſſe, die aber immer noch unbeſtimmt und ohne geſchloſſene Geſtaltung iſt, mit einem Worte alles Unorganiſche. Das Belebte, die Pflanzen und Thiere entſtehen erſt durch Hinzutreten der Formen zu der abgeleiteten und vorbereiteten Materie: die Formen ſind die geſtaltenden, belebenden, beſeelenden Kräfte des Materiellen. Ueber den Raum ſelbſt und deſſen Stetigkeit hat Ariſtoteles zwar Unterſuchungen angeſtellt, die als die erſten in ihrer Art ſehr beachtenswerth ſind. Allein er dachte den Raum nur als die Umgrenzung, als die Hülle des Körpers, von dem man ſagt, er ſei im Raume, nicht als den Zwiſchenraum zwiſchen ſeinen Grenzen. Indem daher nach ſeiner Anſicht immer nur das Umgrenzende die Räumlichkeit des Umgrenzten beſtimmt, gewann auch bei Ariſtoteles der Begriff der Materie noch nicht die charakteriſtiſche Ausbildung, wonach ſie als etwas durch den Raum ſich Erſtreckendes, als ſolide, den Raum ausfüllende Maſſe gedacht wird. Die nämliche Beſtimmung erſcheint auch bei Ariſtoteles noch als etwas Nebenſächliches. Er ließ ſich nicht blos von der Thatſache der Veränderung treiben, ſondern er verwendet auch ihren Begriff nur unter einer leichten Verhüllung zur Beſtimmung des Realen, wozu er die Hyle unbedenklich mit rechnet, da er an dieſen Begriff von Plato her gewöhnt war. Allerdings nennt er, wie ſchon bemerkt, die Materie und die Formen Seiende. Iſt aber die Materie nur das der Möglichkeit nach Seiende, ſo iſt ſie, genau gedacht, inſoweit eben kein Seiendes, als ſie noch ein Unfertiges iſt. Sie iſt aber durch und durch ein Unfertiges, ein blos Mögliches; ihr ganzes Weſen beſteht in Werden und Umwandlung: und das iſt der Begriff, der ſie charakteriſirt. Die Formen, die Ariſtoteles als die höchſte Stufe des Realen anſieht, bezeichnet er ſelbſt ſchon offener als das der Wirklichkeit, der Energie nach Seiende,

d. i. als Wirkendes, Thätiges, Veränderndes. So hat Ariſtoteles durch Verbindung des Begriffspaares Möglichkeit und Wirklichkeit mit dem Sein, dieſen letzteren Begriff ſo weit abgeſtumpft und umgeändert, daß er für ein ſchärferes Denken faſt ganz im Werden aufgeht. Gleichwohl iſt ſeine Faſſung der angegebenen Begriffe für lange Zeit die maßgebende, und theilweiſe bis auf den heutigen Tag die Grundlage weiterer Umbildungen geblieben. Namentlich beherrſchte ſeine Vorſtellungsweiſe das Mittelalter, und gab der Scholaſtik Veranlaſſung zu den Streitigkeiten, ob die Entſtehung der Dinge als eine Beſtimmung der Materie durch die Form (contractio materiae per formam) oder als eine Entwickelung der Form aus der Materie, in welcher ſie der Möglichkeit nach ſchon liege (eductio formae ex materia) anzuſehen ſei, und überhaupt zu den Fragen und Meinungen über das ſogenannte Princip der Individuation. Die Lehre von den vier Elementen erhielt ſich bis ins 16. Jahrhundert nach Chr., wo die erſten Verſuche auftauchen, die chemiſchen Elemente im Sinne der Neueren zu beſtimmen. Auf den Ariſtoteliſchen Begriff der Materie und die Empedokleiſch-Ariſtoteliſche Lehre, daß jedes Element zwei Gegenſätze in ſich vereinige, konnte ſich ſehr wohl die Meinung ſtützen, als könne ein Element in das andere übergehen, und die Hoffnung, die Metalle in einander verwandeln zu können.

Als mit dem Verfall der Scholaſtik auch die Philoſophie reſtaurirt wurde, wurde die Atomiſtik in England durch Hobbes, in Frankreich durch Gaſſendi wieder reproducirt, von letzterem aber vielfach vermiſcht mit Ariſtoteliſchen Begriffen über die verſchiedenen Arten der Urſachen und ſpiritualiſtiſch-chriſtlichen Lehren über Gott als Geiſt und Weltſchöpfer und über immaterielle vernünftige Seelen. Wohl mehr als durch dieſe Denker wurde das neue Emporkommen der Atomiſtik gefördert durch die Lehre des Carteſius, obſchon er ſich principiell gegen die Exiſtenz von Atomen erklärte. Außer Gott dem ungewordenen Weſen nahm er zwei entgegengeſetzten Claſſen von erſchaffenen Weſen an, die ausgedehnte Subſtanz oder die Materie und die unausgedehnte Subſtanz oder die Seelen, die Geiſter. Die Natur des Materiellen beſteht nach ihm nicht in der Härte, in der Schwere, in der Farbe oder ſonſt in einer ſinnlichen Eigenſchaft, ſondern lediglich in der Ausdehnung nach Länge, Breite und Tiefe, ſo daß der Raum von der Materie nicht in der That, ſondern nur für unſere Auffaſſung verſchieden ſein ſoll. Daraus zog er dann die Folgerung, daß es keinen leeren Raum giebt, ſondern daß die eine unendlich ausgedehnte Materie überall im Univerſum eine und dieſelbe gleichartige iſt, daß es aber auch keine Atome giebt, ſondern jedes Ausgedehnte immer noch weiter theilbar iſt. So behauptet er zwar die unendliche Theilbarkeit der Materie, ſagt aber, ſie ſei für den endlichen menſchlichen Verſtand unbegreiflich, und ſpricht in ſeiner Kosmologie und Phyſik immer nur von größeren oder kleineren Maſſentheilchen. Außer der Theilbarkeit kommt der Materie noch Beweglichkeit in ihren Theilen zu. Aber die Bewegung ſelbſt iſt keine Thätigkeit der Materie, ſondern ein Modus, der eben ſo wie die Ruhe der Materie von Gott anerſchaffen iſt und erhalten wird. Verſchiedene Körper können ſich nicht einmal Bewegung mittheilen, d. h. es bewegt kein Körper den anderen, und wirkt überhaupt kein Körper auf den anderen, ſondern alle bewegende Kraft iſt Gottes, der bald hier, bald dort wirkt. Indem nun Descartes aus theilbarer Materie, Bewegung und Ruhe die Körperwelt im Großen und Kleinen zu erklären ſuchte, verwarf er die Erklärung aus Zweckurſachen gänzlich und huldigte vollſtändig dem

Mechanismus, der allein eine von Bewegungsursachen abhängige Zusammensetzung und Lage von mehr oder minder zusammengesetzten Körperchen kennt. Leibniz wollte nun zwar in der Erforschung der Körperwelt den Mechanismus nicht aufgegeben wissen, aber einerseits konnte er der Gleichstellung von Materie und bloßer Ausdehnung nicht zustimmen, andererseits suchte er tiefere Gründe für den Mechanismus und die Gesetze der Bewegung. Ausdehnung sei nur Wiederholung oder continuirliche Vervielfältigung und Coexistenz von Theilen. Sie setzt den Begriff eines Etwas, welches wiederholt oder ausgedehnt ist, voraus, also eine Substanz oder vielmehr eine Vielheit von Substanzen. Denn jedes ausgedehnte Ding kann als ein zusammengesetztes nur gedacht werden, wenn man den Gedanken des Einfachen voraussetzt. Auch besitzt jeder materielle Körper außer der Ausdehnung noch Widerstand, Undurchdringlichkeit, d. h. er zeigt Thätigkeit und Leiden. Es müssen also Principe der Thätigkeit angenommen werden, wirkende Substanzen im Ausgedehnten. So kam Leibniz auf seine Monaden, worunter absolut einfache, unausgedehnte Wesen, reale Einheiten verstanden werden, die einerseits Bedingungen des Zusammengesetzten oder Materiellen sind, andererseits Quellpunkte oder Träger der mechanischen und physischen Thätigkeiten. Dabei nahm er an, daß Sein und Wirken oder wenigstens das Streben darnach identisch sind; was nicht thätig, das ist auch nicht. Jede Monade ist der Heerd nachhaltiger Thätigkeiten. Obgleich hiernach die Monaden keine mathematischen oder blos formalen Punkte sind, sondern reale, so dachte Leibniz die materiellen Körper doch nicht als Complexionen, als Zusammensetzungen aus Monaden. Die Körper bestehen nach ihm nicht aus Monaden als ihren einfachen Elementen: sie gehen blos in das Zusammengesetzte ein, das Materielle ist in unendlich viele Theile nicht blos theilbar, sondern wirklich getheilt. Auch setzen die Monaden als thätige Kräfte ein leidendes Substrat ihrer Thätigkeit voraus. Wie nun Leibniz seine Monadenlehre nur für eine Verbesserung und Erneuerung der aristotelisch scholastischen Lehre von der substantiellen Form ausgab, so verband er damit noch die aristotelische Lehre von der ersten Materie, als dem an sich unthätigen leidenden Substrat der monadischen Thätigkeit, die durch die Materie beschränkt wird. So ist, abgesehen von Gott, der durch keine Materie beschränkte reine Thätigkeit (actus purus) ist, keine Monade ohne Materie, und die materiellen Dinge sind Resultate aus vielen Monaden mit erster Materie, also zwar an sich nicht das wahrhaft Reale, jedenfalls aber wohlbegründete und geordnete Phänomene. Daß dies die wahre Lehre Leibnizens ist, dafür spricht auch noch dies, daß er ganz aristotelisch nur dem Belebten und Beseelten eine herrschende und einigende Centralmonade zuschreibt, alles Unbelebte ohne eine solche nur als Aggregat denkt. Die durch eine beherrschende Monade beseelten Pflanzen und Thierleiber sind Organismen, die ins unendliche wieder aus kleineren Organismen bestehen; den Organismus als Ausgedehntes aber stellte sich Leibniz immer wieder als einen feineren und feineren Mechanismus vor. Schließlich muß jedoch bemerkt werden, daß man bis auf die neueste Zeit allgemein angenommen hat, Leibniz kenne nur Monaden. Darum suchte man denn bei Leibniz vergebens nach einer bestimmten Antwort auf die Frage, wie er aus seinen raumlosen Monaden das räumlich Ausgedehnte construirt habe. Allerdings finden sich darüber bei ihm manche verschiedene Angaben, die nur noch fragmentarischer und unvereinbarer erscheinen, wenn man die aristotelische Lehre von der Materie nicht als im Wesentlichen von Leibniz acceptirt voraus-

ſetzt. Indeſſen darf man auch ſo vermuthen, daß Leibniz mit ſeinem Nachdenken über die Materie nicht zu einem ihm ſelbſt, geſchweige denn Anderen genügenden Abſchluſſe gekommen iſt.

Um ſo leichter mußte es Kant werden, von ſeinem kritiſchen, halb idealiſtiſchen Standpunkte aus die Materie nur als Erſcheinung zu betrachten und lediglich die Kräfte in Unterſuchung zu ziehen, die als Bedingungen dieſer Erſcheinung anzunehmen ſeien. Die Materie, lehrt er, erfüllt den Raum nicht durch ihre bloße Exiſtenz, ſondern durch repulſive Kräfte aller ihrer Theile; ſie iſt ins Unendliche theilbar, und zwar in Theile, deren jeder wiederum Materie iſt. Aber die Materie würde durch ihre repulſive Kraft, welche den Grund der Undurchdringlichkeit enthält, allein, und wenn ihr nicht eine andere bewegende Kraft entgegen wirkte, ſich ins Unendliche zerſtreuen. Es erfordert daher alle Materie zu ihrer Exiſtenz zweitens eine zuſammendrückende Kraft, Attractionskraft, die eben ſo urſprünglich und eine zu ihrem Weſen gehörige Grundkraft iſt, wie die repulſive. Auch die anziehende Kraft, allein vorausgeſetzt, würde alle Theile der Materie in einen mathematiſchen Punkt zuſammenziehen, der Raum würde leer, mithin ohne alle Materie ſein. So zeigte Kant, daß nur die zwei urſprünglichen bewegenden Kräfte der Abſtoßung und Anziehung im Conflict mit einander einen beſtimmten Grad der Erfüllung des Raumes, mithin Materie möglich machen. Die aller Materie weſentliche Anziehung iſt eine unmittelbare Wirkung derſelben auf andere durch den leeren Raum, und erſtreckt ſich von jedem Theile derſelben auf jeden anderen unmittelbar ins Unendliche. Die Wirkung von der allgemeinen Anziehung, die alle Materie auf alle in allen Entfernungen unmittelbar ausübt, heißt die Gravitation; die Beſtrebung, in der Richtung der größeren Gravitation ſich zu bewegen, iſt die Schwere. Die Wirkung von der durchgängigen repulſiven Kraft der Theile jeder gegebenen Materie heißt dieſer ihre urſprüngliche Elaſticität. Dieſe alſo und die Schwere machen die einzigen a priori einzuſehenden allgemeinen Charaktere der Materie, jene innerlich, dieſe in äußeren Verhältniſſen, aus; denn auf den Gründen beider beruht die Möglichkeit der Materie an ſich. Zuſammenhang, wenn er als die wechſelſeitige Anziehung der Materie, die lediglich auf die Bedingung der Berührung eingeſchränkt iſt, erklärt wird, gehört nicht zur Möglichkeit der Materie überhaupt, und kann daher a priori als damit verbunden nicht erklärt werden. Dieſe Eigenſchaft würde alſo nicht metaphyſiſch, ſondern phyſiſch ſein. Dieſe Lehre, daß alles Reale der Gegenſtände äußerer Sinne als bewegende Kraft angeſehen werden müſſe, bezeichnet Kant als Dynamik, dynamiſche Naturphiloſophie, ohne jedoch unter dieſen urſprünglichen Kräften der Attraction und Repulſion das Reale oder Seiende im ſtrengen Sinne verſtehen zu wollen. Vielmehr ließ er dies, wie in ſeiner ganzen Lehre, ſo auch in der von der Materie ganz im Dunkel liegen, weil nach ſeiner philoſophiſchen Anſicht überhaupt überall nur Erſcheinungen von uns zu erkennen ſind, gemäß und vermittelſt der Begriffe, die unſer Verſtand urſprünglich beſitzt. Nach den Verſtandesbegriffen der Cauſalität und Wechſelwirkung reducirt er nun die Erſcheinungen des Materiellen zunächſt auf die beiden Kräfte der Attraction und Repulſion als ihre nächſten Urſachen, aber als etwas ſelbſtſtändig Beſtehendes dürfen dieſe Kräfte in Kant's Sinne doch nicht angeſehen werden. Kant hat nur die wirklichen Träger der Kräfte, die Leibnizi'ſchen Monaden, als etwas ſeiner Meinung nach Unerklärbares bei Seite gelaſſen. Der bedächtige Kant und ſein halber Idealismus

wurden sehr rasch überboten durch den stürmischen Fichte und den phantasiereichen Schelling. Fichte erklärte das Ich für das einzige Reale, weil er die nothwendigen Handlungsweisen glaubte nachweisen zu können, durch welche das Ich dazu komme, sich selbst den Schein einer objectiven, materiellen Welt einzubilden. Er faßte nämlich das Ich als unbeschränkte Thätigkeit, als absolutes Thun auf, das eben darum sich selber setze, aber um zum Bewußtsein seiner selbst zu kommen, sich zugleich als Anstoß und als Schranke seiner Thätigkeit das Nichtich, d. h. die Welt der Objecte, die Natur gegenüberstellen müsse. Eine derartige idealistische Ansicht, die, um auch nicht die geringste Erinnerung an das Seiende und Beharrende übrig zu lassen, das Ich nicht als Träger der Thätigkeit, nicht als Thätiges, sondern nur als abstractes Thun zu denken erlaubt und so weit den Begriff des absoluten Werdens obenan stellt, konnte um so weniger der Naturforschung eine theoretische Unterlage bieten, als Fichte sich vorzugsweise im geistigen Gebiete bewegte, und über jenen abstractesten Begriff der Natur und des Materiellen kaum hinauskam. Darum machte auch Schelling die Naturphilosophie eine Zeitlang zu seiner Specialität, ohne jedoch den Idealismus aufzugeben. Er stellte nur allgemeiner eine Identität des Subjectiven und Objectiven, des Idealen und Realen, des Denkens und Seins, des Geistes und der Natur an die Spitze der Philosophie, und setzte der Ich- oder Geistesphilosophie die Naturphilosophie als die andere nothwendig gleichberechtigte Seite der ganzen Philosophie entgegen. Die materielle Natur wird nur als relative Identität des Realen und Idealen angesehen, so, daß das reale Princip darin vorherrscht, und die Naturphilosophie hat die Aufgabe, das ideale Princip in dem realen überall aufzuzeigen und aus dem realen allmälig zu entwickeln, da jenem im Grunde doch eine höhere Dignität beigelegt wird. Unter Anlehnung an Kant gab Schelling eine Construction der Materie, die von der Einsicht in Kant's Irrthum ausging. Läßt man nämlich, wie aufgegeben wird, Attractiv- und Repulsivkraft als conträr entgegengesetzte auf einander wirken, so sind sie der Quantität nach entweder gleich oder ungleich. Im ersten Falle wird das ganze Quantum der Repulsivkraft durch die gleich starke Attractivkraft vollständig gehemmt, und es geschieht nichts. Im zweiten Falle, wenn die Repulsivkraft die stärkere ist, wird das der Attractivkraft entsprechende Quantum derselben gehemmt, und der Ueberschuß verliert sich im Unendlichen; ist dagegen die Attractivkraft überwiegend, so ereignet sich das Umgekehrte; beidemal geschieht wieder nichts. Das erkannte Schelling; darum nahm er die Schwerkraft als dritte synthetische Kraft hinzu, welche die unverträglichen zusammenhalten, und in der sich die beiden entgegengesetzten so durchdringen sollen, daß das ganze Product in jedem Punkte Attractiv- und Repulsivkraft zugleich ist. Dadurch soll die Construction der Materie erst vollendet werden. In der That aber wird nur noch mehr Widersprechendes hinzugebracht, das durch die weiteren Specialisirungen und die Analogien mit dem Magnetismus, der Elektricität und dem Chemismus nicht gelöst, sondern mit Phantasien überwuchert wird. Hegel wollte nur methodisch den absoluten Idealismus durchführen: das Denken, der Begriff, die Idee oder vielmehr der Proceß, das immanente Werden des Begriffs ist das allein Wirkliche und Wahre, das im ewigen Laufe seiner Entwickelung sich aus sich entläßt als das Andere seiner selbst, d. h. als Natur oder Materie, nur um sich aus diesem Andersein wieder in sich selbst zurückzunehmen zum Geiste. Diese dreieinige Denkbewegung ist keine andere als die des Fichte'schen

Ich, welches ſich, das Nichtich und die Identität von Subject und Object ſetzt. Durch keines dieſer idealiſchen Syſteme iſt das Problem der materiellen Exiſtenz ſeiner Löſung näher gebracht. Da ſie Einheit des Realen lehren, und dieſes als abſolutes Werden oder Thun faſſen, und in keiner Weiſe durch den Begriff des Seins denken, ſind ſie es auch nicht im Stande.

Im Kampfe wider die idealiſtiſchen Syſteme ſeiner Zeit hat Herbart eine realiſtiſche Lehre aufgeſtellt, die eine unbeſtimmte Vielheit des Realen behauptet, und dieſes durch den ſtrengen Begriff des Seienden gedacht wiſſen will. Jedes wahrhaft Seiende iſt ein unaufhebliches, unveränderliches, unausgedehntes, einfaches Weſen. Es iſt erlaubt, die Qualitäten der einfachen Weſen (Elemente) als gleich, als rein verſchieden, als conträr entgegengeſetzt anzunehmen, wie es zur Erklärung der gegebenen Erſcheinungen, die aus ihnen reſultiren, nöthig iſt. Im Uebrigen ſind die einfachen Weſen ihrer Qualität nach unerkennbar. Sind Weſen von theilweiſe entgegengeſetzter Qualität zuſammen, ſo kann dieſer wechſelſeitige Gegenſatz nicht ohne Folgen ſein, ſondern jedes Weſen erhält ſich ſelbſt in ſeiner eigenthümlichen Qualität, d. h. es wird in einen inneren Zuſtand des Widerſtandes, der Thätigkeit geſetzt, welche unter gewiſſen Umſtänden ein unvollkommenes Zuſammen oder eine partiale Durchdringung der Elemente zur Folge hat. Dieſen Begriff des unvollkommenen Zuſammen benutzt Herbart, um von da aus zur Bildung eines Molecüls fortzuſchreiten und überhaupt alle die Bedingungen zu entwickeln, aus denen ſich die Erſcheinung des Materiellen für ein wahrnehmendes und vorſtellendes Subject als Folge ergiebt. Thätigkeiten und Kräfte ſind nach dieſer Lehre das Secundäre, welches ſich erſt unter Umſtänden in den Weſen (durch das Zuſammen derſelben) erzeugt, ſie ſelbſt aber in ihrer Qualität nicht verändert. Irren wir nicht, ſo ſind hier zur Anknüpfung für die Naturforſchung brauchbare und haltbare Gedanken geboten.

In neuerer Zeit hat Fechner*), der gleichfalls einfache Weſen als Grundelemente der Materie anerkennt, gegen die Lehre Herbart's verſchiedene Einwendungen erhoben, die jedoch theils auf Mißverſtändniſſen beruhen, theils darin ihren Grund haben, daß Fechner ſeinen eigenen atomiſtiſchen Principien nicht immer in conſequenter Weiſe Rechnung trägt. Manche ſeiner Einwendungen gelten ſogar Anſichten, die der Lehre Herbart's geradezu widerſprechen oder doch zu ihr in keiner nothwendigen Beziehung ſtehen. Die einfachen Weſen ſind bei Herbart nicht, wie Fechner fälſchlich berichtet, Etwas (ſog. Schemens) hinter dem Gegebenen, ſondern die letzten Elemente deſſelben, durch deren Thätigkeiten alle Erſcheinungen der Sinnenwelt bedingt ſind, ſo daß dieſe außer den Elementen, abgetrennt von denſelben, nicht gedacht werden können. G. Schilling.

II. Anſicht über das Weſen der Materie vom Standpunkte der heutigen Phyſik.

Es iſt Thatſache, daß wir die Körperwelt zunächſt auf dem Wege ſinnlicher Wahrnehmung kennen lernen. Jeder Körper erſcheint uns als eine Complexion ſinnlicher Merkmale, die aus gewiſſen Wirkungen deſſelben auf unſere Sinnesorgane reſultiren. Die Kenntniß dieſer Merkmale, welche mancherlei

*) Ueber phyſikal. und philoſoph. Atomenlehre. Leipzig 1855. Vergl. M. Drobiſch in Zeitſchrift für Philoſophie und philoſ. Kritik von H. Fichte ꝛc. Neue Folge Bd. XXVIII. Heft 1 (Halle 1856) S. 52 ff.

qualitative und quantitative Unterſchiede verrathen, erweitert ſich durch vergleichende Beobachtungen und Verſuche, und in demſelben Maße erweitert und verfeinert ſich auch unſere Kenntniß der verſchiedenen Körper, von denen jeder durch eine beſtimmte Gruppe von Merkmalen charakteriſirt iſt, die ihn leicht von anderen unterſcheiden läßt.

Wenn aus einer ſolchen Gruppe einzelne Merkmale verſchwunden und ſtatt deren andere in derſelben aufgetreten ſind, ſo hat der betreffende Körper eine Veränderung erfahren. Dieſe Veränderung iſt nun meiſt, wie Beobachtungen und Verſuche mit Beſtimmtheit lehren, eine Folge davon, daß der veränderte Körper mit einem oder mit mehreren anderen Körpern auf gewiſſe Weiſe zuſammengetroffen iſt. Die Chemie bezeugt durch unzählige Thatſachen, daß, wenn ein Körper oder Stoff eines ſeiner Merkmale mit einem neuen vertauſcht, dies die Folge ſeines Zuſammentreffens mit einem anderen Stoffe iſt, oder die Folge davon, daß der Körper aus ſeiner bisherigen Gemeinſchaft mit gewiſſen Stoffen heraus- und in eine neue Gemeinſchaft mit anderen Stoffen eintritt. So können zwei (oder auch mehrere) Stoffe, die entgegengeſetzte Eigenſchaften zeigen, wie z. B. Sauer- und Waſſerſtoff, wenn ſie unter gehörigen Umſtänden zuſammentreffen, einen neuen Körper bilden, deſſen Eigenſchaften ſehr merklich verſchieden von denen der Beſtandtheile ſind. Dies zeigt mit Evidenz jede chemiſche Verbindung, die überhaupt eine Vereinigung ungleichartiger Stoffe zu einem gleichartigen Ganzen iſt. Die Veränderung, welche hier der eine Stoff erfährt, hat ihre Urſache in dem Zuſammenſein mit dem anderen, und ſo umgekehrt. In dem Augenblicke, wo dieſe Veränderung ſtatiſindet, oder eine beſtimmte Gemeinſchaft der verſchiedenartigen Stoffe ſich herſtellt, geht zwiſchen den letzteren etwas vor, das ſich durch gewiſſe, meiſt vorübergehende Erſcheinungen, wie Wärme und wohl auch Licht, bemerklich macht. Es kann aber keinem Zweifel unterliegen, daß zwiſchen den Beſtandtheilen dieſer Stoffe auch dann noch etwas vorgeht, nachdem die Verbindung derſelben zu einem neuen Ganzen bereits geſchehen iſt. Und dieſer Vorgang, welcher daſſelbe ſein wird mit dem, was man durch das Wort „Wechſelwirkung" bezeichnet, iſt es, wodurch die Gemeinſchaft der Stoffe unter einander und die Exiſtenz des aus ihnen beſtehenden Körpers ſo lange erhalten wird, bis ſich neue chemiſche Einwirkungen von außen in überwiegender Stärke geltend machen. Die Erfahrung lehrt aber, daß die ungleichartigen Stoffe während ihrer Gemeinſchaft mit einander ihre eigenthümliche Qualität keineswegs einbüßen, ſondern daß ſie vielmehr mit allen ihren früheren Eigenſchaften wieder unverſehrt daraus hervorgehen. Doch iſt es allerdings möglich, daß ein Stoff durch ſeine Verbindung mit anderen in gewiſſe innere Zuſtände geräth und dadurch, ohne weſentliche Veränderung ſeiner urſprünglichen Qualität, Eigenſchaften gewinnt, die ihm vorher nicht zukamen. Es gehören hierher diejenigen Modificationen der chemiſchen Grundſtoffe, welche man unter dem Ausdrucke Allotropie (von ἄλλος, anders, und τροπή, Wendung) zuſammenfaßt.

Die chemiſchen Vorgänge oder Proceſſe ſind alſo, wenn man ſie lediglich von ihrer empiriſchen Seite auffaßt, dadurch ausgezeichnet, daß die Gruppen ſinnlicher Merkmale, welche beſtimmte Körper oder Stoffe charakteriſiren, einen Wechſel darbieten, der ſeine Urſache in der Verbindung und Trennung dieſer Stoffe hat. Von denſelben zu unterſcheiden ſind die mechaniſchen und zum großen Theil auch die phyſikaliſchen Vorgänge, bei denen außer der Veränderung der Form, die häufig

eine nur vorübergehende iſt, keine andere, namentlich keine ſog. qualitative Veränderung vorkommt. Keines der ſinnlichen Merkmale, durch welche zuſammengenommen wir den Körper erkennen, geht hier verloren. Die Erſcheinung, welche wir wahrnehmen, reſultirt aus gewiſſen Bewegungszuſtänden, in welche entweder der ganze Körper oder auch nur die einzelnen Theilchen deſſelben gerathen, ſo daß in dieſem letzteren Falle der Körper ſelbſt keine merkliche Ortsveränderung erfährt. So werden die Erſcheinungen des Schalles durch eine ſchwingende Bewegung bewirkt, welche die materiellen Theilchen um ihre Gleichgewichtslage vollführen. Solche Erſcheinungen dauern ſo lange als die ſie bedingende Bewegung der Theilchen; ſie beginnen und verſchwinden mit derſelben.

Von welcher Art aber auch die Veränderung ſein mag, welche ein Körper erfährt, immer erſcheint er uns als ein Ding, welches den Raum erfüllt und in ihm ausgedehnt iſt. Das den Raum Füllende und inſofern in ihm Ausgedehnte nennt man überhaupt *Materie*; die letztere aber als bloße träge Maſſe gedacht, die nur durch etwas anderes, außer ihr Befindliche zu irgend einer Thätigkeit erregt werden könne, wird *Stoff* genannt. Die Materie iſt nun freilich mehr als bloßer träger Stoff. Jedes materielle Theilchen, das man in einem und demſelben Körper unterſcheiden kann, ſucht die Raumſtelle, die es im Verhältniß zu den übrigen Theilchen einnimmt, zu behaupten. Wird es durch irgend eine Urſache aus ſeiner Gleichgewichtslage verrückt, ſo verhalten ſich dabei die übrigen Theilchen nicht gleichgiltig, ſondern es erfahren auch dieſe eine mehr oder weniger beträchtliche Ortsveränderung. Zwiſchen den verſchiedenen Theilchen eines und deſſelben Körpers beſteht alſo ein gewiſſer Zuſammenhang, vermöge deſſen ſie ihre gegenſeitigen räumlichen Stellungsverhältniſſe aufrecht zu erhalten ſuchen. Und dies iſt dasjenige, was man die *Cohäſion* eines Körpers nennt, womit man eben ſagen will, daß die gleichartigen Theilchen eines und deſſelben Körpers nicht gleichgiltig neben einander liegen, ſondern daß ſie einen wechſelſeitigen Einfluß auf einander ausüben. Dieſen Einfluß, welcher die Theilchen nöthigt, in einer beſtimmten gegenſeitigen Lage zu verharren, erfährt man deutlich an dem Widerſtande, den ein ſtarrer Körper dann leiſtet, wenn man ihn durch Ziehen zu zerreißen ſucht. Der Körper erfährt dann in der Richtung des Zuges eine Verlängerung, ſeine Theilchen rücken weiter auseinander, bis an irgend einer Stelle die wirkliche Trennung erfolgt. Ueberſchreitet aber die ziehende Gewalt eine gewiſſe Grenze nicht, ſo kehren die Theilchen, nach Wegfall dieſer äußeren Gewalt, wieder in ihre frühere Gleichgewichtslage zurück. Wird dagegen ein Körper einem äußeren Druck unterworfen, ſo rücken die Theilchen in der Richtung des letzteren einander näher; der Körper verkürzt ſich. Aber auch dies geſchieht nur mit Ueberwindung eines beſtimmten Widerſtandes von Seiten der Körpertheilchen, welche ſich wieder ſo weit von einander zu entfernen ſtreben, als zur Rückkehr in ihre normale Poſition nöthig iſt. Die Theilchen der ſtarren Materie haben alſo ſowohl bei der Ausdehnung als auch bei der Zuſammendrückung derſelben das Beſtreben, in ihre gewöhnliche Gleichgewichtslage mit einer gewiſſen Gewalt zurückzukehren; und hierin beſteht das, was man die *Elaſticität* der Materie nennt, während man unter Cohäſion nur im Allgemeinen die Kraft verſteht, womit die Theilchen eines und deſſelben Körpers zuſammenhängen.

Wenn demnach die Materie ausgedehnt wird, ſo werden ihre Theilchen, indem ſie widerſtreben, über die gewöhnliche Gleichgewichtslage hinaus von einander

entfernt; ſie ſuchen ſich der letzteren wieder zu nähern, und dies ſcheint die Folge einer wechſelſeitigen Anziehung zu ſein. Bei der Compreſſion werden umgekehrt die Theilchen der Materie über ihre Gleichgewichtslage hinaus einander genähert; ſie ſtreben wieder aus einander, und dies ſcheint die Folge einer gegenſeitigen Abſtoßung zu ſein. So können Anziehung und Abſtoßung leicht als Grundkräfte der Materie erſcheinen, welche bei der Conſtitution der verſchiedenen Körper in ein gewiſſes Gleichgewichtsverhältniß treten, das aber in Folge äußerer Einwirkungen bald zu Gunſten der einen, bald zu Gunſten der anderen Kraft abgeändert werden kann, ſo daß z. B. bei dem gasförmigen Aggregatzuſtande eines Körpers lediglich die abſtoßende Kraft vorwaltet. Der Begriff der Materie erſcheint hiernach als zuſammengeſetzt aus den Begriffen von Stoff und Kraft, ſo jedoch, daß die letzteren nur in der Abſtraction von einander getrennt werden können. In dem erfahrungsmäßig, auf Grund beſtimmter Thatſachen, erzeugten Begriffe der Materie ſind beide unzertrennlich mit einander verbunden, ſo daß der eine ohne den anderen gar nicht gedacht werden kann.

Unter dem Worte Trägheit verſteht man in der Mechanik die Thatſache, daß ein Körper nicht von ſelbſt aus dem Zuſtande der Ruhe in den der Bewegung, und nicht von ſelbſt aus Bewegung zur Ruhe übergehen kann. Wenn aber ein Körper aus dem einen Zuſtande in den anderen übergeht, ſo verhält er ſich dabei keineswegs ganz paſſiv, ſondern er übt dabei eine beſtimmte Wirkſamkeit aus. Trifft z. B. ein ruhender Körper mit einem bewegten zuſammen, ſo überträgt ſich die Geſchwindigkeit des letzteren auf den erſteren, welcher eine Geſchwindigkeit annimmt, die im umgekehrten Verhältniß zu ſeiner Maſſe ſteht. Beide Körper machen ſich im Moment ihres Zuſammentreffens den Raum ſtreitig, indem zunächſt der bewegte in den Raum des ruhenden einzudringen ſucht; dieſer wirkt aber mit einer gewiſſen Kraft zurück, bis beide eine gemeinſchaftliche Geſchwindigkeit erlangt haben. Niemals verhält ſich ein Körper, der eine beſtimmte Veränderung erfährt, ſei dieſe welche ſie wolle, lediglich leidend. Der Unterſchied zwiſchen Activität und Paſſivität iſt hier völlig illuſoriſch, und kann nur eine gewiſſe relative Bedeutung haben. Man kann einen Körper, auf den man gerade die Aufmerkſamkeit richtet, als leidend betrachten, wenn er durch das Zuſammenkommen mit einem anderen Körper eine Veränderung erfährt, und zwar um deſſentwillen als leidend, weil er ſich dieſe Veränderung muß gefallen laſſen. Der andere Körper, dem man die Urſache dieſer Veränderung mit Recht zuſchreibt, erſcheint dann als thätig, obwohl er ebenfalls der Einwirkung jenes Körpers ausgeſetzt und inſofern leidend iſt. Kurz, beide Körper ſind activ und paſſiv zugleich. Und dies gilt allgemein, da man es bei allen mechaniſchen, phyſikaliſchen und namentlich auch bei allen chemiſchen Proceſſen deutlich genug wahrnehmen kann. So erleidet z. B. der Waſſerſtoff eine beſtimmte Veränderung, wenn er auf gewiſſe Weiſe mit dem Sauerſtoff zuſammentrifft, aber eben ſo ſehr erſcheint auch dieſer durch jenen verändert; beide bilden in ihrem Zuſammenſein und der dadurch begründeten Wechſelwirkung einen neuen Körper, das Waſſer, deſſen Eigenſchaften, verſchieden von denen der beiden Beſtandtheile, ſowohl durch die Thätigkeit des Sauerſtoffs als auch durch die des Waſſerſtoffs bedingt ſind.

Die Materie iſt theilbar, und es fehlt nicht an Beiſpielen, welche zeigen, daß die Theilbarkeit der Materie weit über die Grenzen ſinnlicher Wahrnehmung hinausgeht. Nimmt man nun an, wie dies von der ſogenannten dynamiſchen

Anſicht geſchieht, daß die Materie den Raum continuirlich erfülle, ſo birgt jeder endliche Körper eine unendliche Fülle von Theilen in ſich. Die Theilbarkeit hat dann keine Grenzen, bei dem phyſiſchen Körper ſo wenig als bei dem geometriſchen, der als ein begrenzter Theil des continuirlichen Raumes gedacht wird. Wiewohl nun der Augenſchein leicht zu der Meinung verleiten kann, daß die Materie den Raum continuirlich erfülle, ſo lehrt doch die genauere Beobachtung und das Experiment, daß dies nicht ſtreng genommen werden dürfe, da jede Art von Materie in ihrem Innern eine Menge von Zwiſchenräumen verräth. Ueberträgt man aber die geometriſche Theilbarkeit, die ſich auf ein vollkommenes Continuum bezieht, im ſtrengen Sinne auf die Materie, auf das, was im Raume iſt und dieſen füllt, ſo beginnen wir, indem wir Materie denken, eine Theilung, die ins Unendliche fortgeſetzt werden muß, weil jeder Theil noch als ein Ausgedehntes ſoll gedacht werden. Unſere Vorſtellung von der Materie iſt dann, wie Herbart bemerkt, jederzeit noch im Werden begriffen und wird niemals fertig, weil alle unendlich vielen Theile zuſammengefaßt werden müſſen, um das Ganze zu erhalten. Das unabhängige Daſein aller materiellen Theilchen erreichen wir im Denken niemals, ſo lange wir die Theilchen erſt durch eine Theilung aus dem Ganzen (der Materie) hervorgehen laſſen. Wir erreichen demnach auch niemals das, was an der Materie wahrhaft iſt, denn wir kommen nie zu allen, nie zu den letzten Theilchen, eben weil die Theilung ohne Ende fortgeſetzt oder die Unendlichkeit derſelben überſprungen werden müßte. Der Gedanke der unendlichen Theilbarkeit der Materie iſt ungereimt. Denn eine Unendlichkeit von Theilen annehmen, heißt ſo viel als nichts annehmen. Die Unendlichkeit läßt ſich nicht erſchöpfen. Man denke ſich ein beliebiges Stück Materie und führe durch daſſelbe einen beſtimmten Schnitt; ſo liegt die Möglichkeit am Tage, daß man dieſen nämlichen Schnitt auf unendlich vielfache Weiſe anders hindurchführen kann. Hiermit iſt wirklich die ganze unendliche Theilung auf einmal vollzogen, und man hat die letzten Theilchen wenigſtens im Denken erreicht. Aber was ſind nun dieſe Theile? Jeder Theil muß, wie bei einer geometriſchen Theilung, gleichartig ſein dem als gleichartig gedachten Ganzen. Dieſes letztere wurde aber nur inſofern gleichartig gedacht, als daſſelbe Materie darſtellt, auf deren beſondere Qualität hier nichts ankommt. Alſo iſt jeder Theil wieder Materie und kann, weil er ausgedehnt iſt, auch wieder getheilt werden. Hierdurch wird nun die vorige Vorausſetzung der ſchon fertigen, unendlichen Theilung umgeſtoßen. Man beginnt auf dieſelbe Weiſe von Neuem zu theilen, und geräth damit in einen Zirkel, der keinen Ruhepunkt darbietet. Dieſe Betrachtung bietet hinreichende Veranlaſſung, jene falſche Anwendung der Geometrie auf die Materie zurückzuweiſen und den Schluß zu ziehen: daß die Materie zuletzt nicht wieder aus Materie beſteht, ſondern daß ihre wahren Beſtandtheile ſchlechthin einfach ſind.

Dieſen Schluß würde man vielleicht ſchon längſt in weiteren Kreiſen gezogen haben, wenn nicht die Schwierigkeit, aus ſolchen unräumlichen Elementen die raumerfüllende Materie zu conſtruiren, daran gehindert hätte. Die Schwierigkeit wird aber nur ſcheinbar durch eine willkürliche Fiction gehoben, wenn man ſich alle Körper aus kleinſten materiellen Theilchen zuſammengeſetzt denkt, die phyſiſch untheilbar ſein ſollen, und deshalb Atome genannt werden. Dieſe Atome, ſo klein ſie auch angenommen werden mögen, haben doch immer Ausdehnung, und wo Ausdehnung iſt, da giebt es auch Theile, gleichviel ob ſie ſich geſondert

darſtellen laſſen oder nicht. Man ſieht, daß der obige Zirkel ſich auch hier wieder einſtellt, und daß man nur dadurch aus demſelben herauskommt, wenn man die letzten Elemente der Materie als einfach im ſtrengſten Sinne annimmt. Dieſe Elemente wären dann die eigentlichen Atome, und es würde nun allerdings eine Aufgabe der höheren Phyſik ſein, nachzuweiſen, wie aus ſolchen Elementen die mit Raumbeſtimmungen behaftete Materie ſich habe bilden können. Davon ſoll weiterhin noch die Rede ſein.

Neben der mechaniſchen giebt es chemiſche Theilbarkeit der Materie, welche dann zu Tage tritt, wenn ein Körper, der als ein gleichartiges Ganze erſcheint, in ungleichartige Beſtandtheile zerfällt. So kann man z. B. Zinnober in Schwefel und Queckſilber, Waſſer in Sauer- und Waſſerſtoff, die Alkalien und Erden in Sauerſtoff und gewiſſe metalliſche Stoffe zerlegen. Die Chemie nennt nun ſolche Stoffe, welche auf chemiſchem Wege nicht weiter zerlegt werden können, Grundſtoffe oder wohl auch Elemente, behauptet jedoch keineswegs, daß dieſe Stoffe nicht weiter zuſammengeſetzt ſeien; denn die Möglichkeit einer Zuſammengeſetztheit derſelben läßt ſich nicht in Abrede ſtellen. Es iſt alſo möglich, daß ein beſtimmter Stoff, der Beſtandtheil eines zuſammengeſetzten Körpers iſt, abermals aus wenigſtens zwei ungleichartigen Stoffen beſtehe. Wollten wir aber ſo ohne Ende fortfahren und immer von Neuem annehmen, daß ein jeder der Beſtandtheile, aus welchen ein Körper zuſammengeſetzt iſt, abermals aus zwei ungleichartigen Stoffen beſtehe, ſo würde die Ungereimtheit einer ſolchen Vorſtellungsweiſe ſofort in die Augen ſpringen. Die chemiſche Theilbarkeit muß, wie die mechaniſche, wenn ſie nicht zu Ungereimtheiten führen ſoll, irgendwo ihre Grenze haben. Zu einer wirklichen Grenzvorſtellung gelangt man aber auch hier nur durch die Annahme, daß die letzten, wahren Beſtandtheile der Materie ſchlechthin einfach ſind.

Indeſſen ſetzt die chemiſche Theilbarkeit der Materie der mechaniſchen eine gewiſſe Grenze. Zwei ungleichartige Stoffe können ſich, wie wir wiſſen, zu einem gleichartigen Ganzen vereinigen, wie z. B. Schwefel und Queckſilber zu Zinnober, Waſſer- und Sauerſtoff zu Waſſer, Salpeterſäure und Kali zu Salpeter ꝛc. Die mechaniſche Theilbarkeit eines ſo zuſammengeſetzten Körpers, welche bekanntlich immerfort Theilchen liefert, die dem Ganzen gleichartig erſcheinen, iſt beendigt, ſobald man den gegebenen Körper in ſeine ungleichartigen Beſtandtheile zerlegt hat. Und es bleibt nun nichts anderes übrig als die unendliche mechaniſche Theilbarkeit auf dieſe Beſtandtheile zu übertragen. So oft aber die letzteren noch in einfachere Beſtandtheile zerlegt werden können, eben ſo oft findet die mechaniſche Theilbarkeit des betreffenden Stoffes (in gleichartige Theilchen) ihre Grenze.

Der Gedanke einer unendlich mechaniſchen Theilbarkeit der Materie wird übrigens auch ſchon durch die Thatſache zurückgewieſen, daß die chemiſche Verbindung ungleichartiger Stoffe nach beſtimmten quantitativen Verhältniſſen von Statten geht. Dies iſt nicht einzuſehen, wenn die Materie den Raum continuirlich erfüllt, ſo daß ſie demgemäß, nämlich in Folge der unendlichen Theilbarkeit, eine beliebige Verdichtung und Verdünnung zuläßt. Warum ſollte dann nicht ein Stoff mit irgend einem anderen in allen Quantitätsverhältniſſen in Wechſelwirkung treten, und ſich mit ihm zu einem neuen Körper verbinden können?

Die dynamiſche Anſicht, inſofern ſie eine continuirliche Raumerfüllung der Materie annimmt, bringt es nicht einmal bis zur evidenten Erklärung des Riſſes,

welcher entſteht, wenn ein Körper durch äußere Zugkräfte zerriſſen wird. Nach ihr kann man nichts anderes erwarten, als daß ſich der Körper immer länger dehnt. Dabei nimmt zwar ſeine Dichtigkeit fortwährend ab, aber ſeine Continuität wird und muß bleiben, wenn nicht der Begriff der Materie, ſo wie ihn dieſe Anſicht aufſtellt, in ſich ſelber zerfallen ſoll. Auch bei einem unendlichen Wachsthum der dehnenden Kraft ſollte nach ihr nur eine unendliche Abnahme der Dichtigkeit des Körpers, aber kein Reißen deſſelben ſtattfinden *). Aehnliche Schwierigkeiten machen ſich geltend, wenn man nach dieſer Anſicht die Zertheilung eines Körpers durch einen äußeren Druck erklären will.

Die Annahme abſolut einfacher Atome, die wir als die letzten, realen Elemente der Materie betrachten, iſt an ſich frei von jedem Widerſpruche. Dieſe Elemente ſind zwar, da ſie unſerer Anſchauung nicht vorliegen, empiriſch unerfaßlich, und inſofern nur Gegenſtand des Begriffs; aber ihre Annahme ſtützt ſich doch ganz auf eine analytiſche Betrachtung des erfahrungsmäßig Gegebenen und auf den Fortſchritt eines geſetzmäßigen Denkens. Obgleich dieſelben, als ausdehnungsloſe Weſen, keinen Raum einnehmen, ſo befinden ſie ſich doch im Raume, der ſie gewiſſermaßen in ſich enthält. Wie nun jedem mathematiſchen Punkte, den man in einem gegebenen Raume unterſcheiden kann, ungeachtet ſeiner Ausdehnungsloſigkeit, doch eine beſtimmte Stelle in dieſem Raume zukommt, ſo haben auch die einfachen Atome ihre Raumſtellen (Orte), die ſie unter Umſtänden aber auch verlaſſen können, um zu anderen Stellen überzugehen. Dieſe Atome unterſcheiden ſich von den weſenloſen mathematiſchen Punkten, denen ſie in Hinſicht auf ihre räumlichen Verhältniſſe vergleichbar ſind, durch ihre Qualität, durch welche ſie poſitiv beſtimmt ſind.

Im gewöhnlichen ſinnlichen Vorſtellen erſcheint uns Alles in räumlicher Weiſe. Das am meiſten Maſſenhafte macht ſich nicht ſelten am ſtärkſten geltend, und das kleiner Werdende erſcheint dem Bewußtſein als ein Verſchwindendes. So kann eine Scheu entſtehen vor der Annahme abſolut einfacher Atome, die uns keine anſchauliche Vorſtellung gewähren, und dem im ſinnlichen Vorſtellen Befangenen leicht als ein Nichts erſcheinen. Wir können uns dieſelben aber denken, ſo gut wie wir uns mathematiſche Punkte im Raume denken; ja wir müſſen uns ſogar dieſelben denken, wenn wir aus gewiſſen Ungereimtheiten, die dem gewöhnlichen Begriff der Materie anhaften, herauskommen wollen. Es wird Niemandem einfallen, die Realität eines Körpers nach der Größe des Raumes zu ſchätzen, den er einnimmt. Niemand wird anſtehen, einen Körper, der den zehntauſendmillionſten Theil eines Cubikzolls einnimmt, für eben ſo real zu halten, als einen anderen, welcher einen zehntauſendmillionen Mal größeren Raum füllt. Der Begriff der Realität, der Begriff deſſen, was wahrhaft iſt, iſt völlig unabhängig vom Begriff der weſenloſen Räumlichkeit, ſo daß dieſer zu jenem in gar keiner nothwendigen Beziehung ſteht. Laſſen wir nun bei den letzten Beſtandtheilen der Materie die Räumlichkeit ganz fallen, ſo werden ſie darum nicht der Realität entbehren. Die einfachen Atome, die realen Elemente der Materie, können aber, obgleich jedes Element an ſich ganz unräumlich iſt, dennoch unter einander in gewiſſe räumliche Verhältniſſe treten, und dadurch auch dasjenige bilden, was

*) Vergl. Fechner: Ueber phyſik. und philoſ. Atomenlehre. S. 54.

man Materie nennt. Wie dies geſchehen kann, ſoll bald Gegenſtand einer genaueren Betrachtung werden.

Die Anſicht von einfachen Weſen (Elementen), als letzten Beſtandtheilen der Materie, findet ſich, wie bereits im hiſtoriſchen Theil dieſes Artikels bemerkt iſt, bei Herbart und in deſſen Schule. Auch fehlt es nicht an berühmten Phyſikern, welche dieſer Anſicht huldigen. So Ampère, Cauchy, Seguin, Moigno, Fechner und gewiſſermaßen auch Faraday. Fechner*) führt noch W. Weber an, welcher die Möglichkeit anerkenne, die Atome ausdehnungslos zu denken, und darauf eine geiſtige Auffaſſung der Atomiſtik zu baſiren.

Man ſieht es als eine Wahrheit an, daß einfache Punkte den continuirlichen Raum nicht zuſammenſetzen können, obwohl man ſich beliebig viele ſolcher Punkte in demſelben denken kann. Eben ſo wenig nun, wie einfache Punkte den continuirlichen Raum bilden, wird man ſagen, werden einfache Atome einen Raum erfüllenden Körper conſtituiren. Und dies könnte man zugeben, wenn die Materie den Raum wirklich continuirlich erfüllte. Dieſer Begriff der Materie iſt aber bereits, als ein der Wirklichkeit nicht entſprechender, zurückgewieſen worden. Die Materie füllt zwar den Raum, aber ſie erfüllt ihn nicht als ein Continuum.

Man denke ſich in einem leeren Raume von beſtimmter Größe, etwa in einem Cubikzoll, eine beliebige Anzahl einfacher Punkte, und in dieſen eben ſo viele einfache Atome. So lange nun die letzteren in gewiſſen, auch noch ſo kleinen Abſtänden gleichgiltig neben einander verharren, werden ſie zuſammengenommen nichts darbieten, was einem Körper verglichen werden könnte. Wie aber die ſichtbaren Theilchen eines Körpers einen wechſelſeitigen Einfluß auf einander ausüben, ſo muß dies auch von den einfachen Atomen gelten. Dieſelben müſſen in einem Cauſalverhältniß oder in einem Verhältniß der Wechſelwirkung zu einander ſtehen. Jedes Atom wirke alſo auf das andere und ſei rückwärts deſſen Wirkung ausgeſetzt. Wirken die Atome anziehend und abſtoßend zugleich auf einander, ſo werden ſie ſich, dieſem gegenſeitigen Einfluſſe gemäß, in beſtimmten Abſtänden von einander zu erhalten ſuchen, und jeder Angriff, den ein Atom irgend wie von außen her erfährt, wird auch von Erfolg für die übrigen ſein, ſo daß, wenn das angegriffene Atom in Bewegung geräth, auch die übrigen Atome in dieſelbe mit hineingezogen werden. So bilden die einfachen Atome, in Folge ihrer Wechſelwirkung, ein Ganzes, das beſtimmte räumliche Verhältniſſe darbietet, weil die einzelnen wirkſamen Glieder deſſelben in gewiſſen Abſtänden einander gegenüberſtehen. Jedes Atom ſtrebt, geſtützt durch den Einfluß der übrigen, in dem Punkte zu verharren, worin es ſich befindet, und kann aus demſelben nur durch Ueberwindung eines beſtimmten Widerſtandes verdrängt werden. Wenn demnach eine andere Gruppe von einfachen Atomen, die ebenfalls mit einander, vermöge ihrer gegenſeitigen Einwirkung, zu einem Ganzen verbunden ſind, in jene Atomgruppe einzudringen ſucht, ſo werden beide Gruppen einander widerſtehen und inſofern Undurchdringlichkeit verrathen. Suchen wir aber ſelbſt vermittelſt unſeres Taſtorgans in den Raum einzudringen, worin einfache Atome in beſtimmten Punkten auf die angegebene Weiſe ſich befinden, ſo werden wir die Einwirkung und demzufolge auch

*) Atomenlehre. S. 161.

den Widerſtand dieſer Atome überall, am ganzen Umfange des betreffenden Raumes erfahren. Daher wird uns das Ganze, welches die einfachen Atome, kraft ihrer Wechſelwirkung, zuſammengenommen darſtellen, als ein Etwas erſcheinen, das den Raum erfüllt.

Wollten wir an die Stelle der einfachen Elemente materielle Atome von unmeßbar kleinen Dimenſionen ſetzen, wie das gewöhnlich in der Phyſik geſchieht, ſo würde dadurch unſere Einſicht in das Weſen der Materie nur beſchränkt werden. Denn es heißt nicht das Weſen der Materie begreifen, wenn man ſich die letzten Beſtandtheile, welche die Materie conſtituiren ſollen, materiell denkt. Auch können ſolche Atome die erfahrungsmäßig gegebene Materie ſo wenig conſtituiren wie die einfachen Atome, wenn ſie nicht gleich dieſen in einem Verhältniß der Wechſelwirkung zu einander ſtehen. Kämen ſie bis zur Berührung an einander, ſo könnten ſie wohl Materie bilden, aber nicht diejenige Materie, welche uns erfahrungsmäßig gegeben iſt; denn dieſe läßt ſich zuſammendrücken, was bei der vorausgeſetzten Undurchdringlichkeit der materiellen Atome unmöglich wäre. Die letzteren müſſen alſo gleichfalls in beſtimmten Abſtänden von einander gedacht werden, was auch zu geſchehen pflegt. Dann erſcheint jedoch der unmeßbar kleine Raum, den dieſe Atome erfüllen ſollen, völlig bedeutungslos. Ihre Wechſelwirkung bleibt die Hauptſache. Die Kraftverhältniſſe aber, welche dieſer Wechſelwirkung zu Grunde liegen und die Conſtitution der Materie bedingen, können gewiß nicht urſprünglich durch eine Ausdehnung der Atome bedingt ſein.

Die einfachen Atome müſſen alſo auf und gegen einander wirken, wenn ſie einen Körper conſtituiren ſollen. Dieſe Wirkungen ſind jedoch nicht zu betrachten als Aeußerungen ſelbſtſtändiger Kräfte, welche gewiſſermaßen hinter den Atomen ſtehen und dieſe, als paſſiv, im Raume hin und herſchieben. Bei einer ſolchen Annahme erſcheinen die Atome ſelbſt als eine überflüſſige Zugabe; jene Kräfte, ſofern man dieſelben nur diſcret, als punktuelle Intenſitäten, denkt (wodurch ſie freilich in gewiſſer Beziehung mit den einfachen Weſen zuſammenfallen würden), reichen dann ſchon allein zur Conſtruction der Materie aus. Die einfachen Atome, welche den wahren Stoff der Materie bilden, ſind vielmehr ſelbſt, ihrem ganzen Weſen nach, Kräfte, wenn ſie einen beſtimmten Körper conſtituiren, ſo daß dieſer ein Aggregat von Kraftpunkten iſt. Die Kraftäußerungen der Materie ſind den ſie conſtituirenden Atomen weſentlich zugehörige Thätigkeiten.

Nun findet aber jedes Atom, das mit anderen einen Körper bildet, den Grund oder die Veranlaſſung zu ſeiner Thätigkeit nur in den anderen benachbarten Atomen. Jedes Atom hält das andere in einer beſtimmten Entfernung feſt und wird von dieſem feſtgehalten. Kein Atom weiß aber etwas von ſeinem Nachbaratome, und es iſt nicht einzuſehen, wie ein Atom, das lediglich ſich ſelbſt gleich iſt, durch einen auch noch ſo kleinen leeren Raum auf ein anderes eine Wirkung ausüben und von dieſem eine Wirkung empfangen kann. Nehmen wir an, daß jedes Atom auf das andere anziehend und abſtoßend zugleich wirke, ſo iſt dies ſchon ein Widerſpruch, wenn ſolche entgegengeſetzte Thätigkeiten zugleich und urſprünglich in einem und demſelben einfachen Weſen ſtattfinden ſollen. Sieht man davon aber auch ab, ſo können dieſe Thätigkeiten bekanntermaßen doch keinen Erfolg für ein anderes Atom haben, wenn ſie auf daſſelbe in gleichem Maße ausgeübt werden; ſie müſſen ſich aufheben. Anziehung allein würde aber die Atome bis zur Berührung nahe bringen; ſie könnten dann keinen Körper bilden, gleich-

viel, ob ſie materiell oder ausdehnungslos gedacht werden. Und eine alleinige repulſive (abſtoßende) Thätigkeit würde ſie im Raume zerſtreuen, alſo ebenfalls die Bildung eines Körpers verhindern. Es ſcheint alſo doch, als ob beide Thätigkeiten, die attractive und repulſive, zugleich in den Atomen vorhanden ſein müßten, nur ſo, daß die eine, die Repulſion, bei der Annäherung zweier Atome ſchneller wachſe als die andere, die Attraction. Die vollſtändige Berührung wird dann zugleich mit der völligen Zerſtreuung der Atome vermieden ſein. Wie es aber zugehe, daß ein Atom durch den leeren Raum hin auf ein anderes wirke, iſt freilich ſchlechthin unbegreiflich. Ja es iſt, ſo lange man ſich die Atome außer einander denkt, gar nicht zu begreifen, wie überhaupt nur eine Wechſelwirkung von dem einen zu dem andern hin ſtattfinden könne. Wie kann auf dieſem Wege ein Atom durch andere zu einer Thätigkeit veranlaßt werden, die ſie innerhalb gewiſſer Raumgrenzen dauernd zu einem Ganzen vereinigt? Und doch müſſen ſie thätig ſein, müſſen eine Wechſelwirkung ausüben, falls ſie einen Körper conſtituiren ſollen. Was nun den Atomen unmöglich iſt, ſo lange ſie außer einander ſind, das vermögen ſie vielleicht, wenn ſie zuſammen, d. h. in einander ſind. Es iſt möglich, daß in einem ſolchen Zuſammen der Atome ſich zwiſchen ihnen Kraftverhältniſſe bilden, durch welche ſie wieder aus einander getrieben werden, jedoch ſo, daß ſie in beſtimmter Weiſe bei einander bleiben müſſen.

Von der an ſich unerkennbaren, einfachen Qualität der Elemente läßt ſich doch ſo viel einſehen, daß dieſelbe bei mehreren, falls ſie wirklich mit einander verglichen werden könnten, entweder *gleich* oder conträr *entgegengeſetzt* ſein müſſe. Im erſten Falle werden die Elemente, wenn ſie zuſammen kommen, gleichgiltig in einander verharren. Denn es iſt nicht abzuſehen, wie gleichartige Elemente, als ſolche, im Falle des Zuſammentreffens auf einander einwirken können. Da jedes dem anderen hinſichtlich der Qualität völlig gleich iſt, ſo kann keinem etwas von dem anderen widerfahren. Es müſſen noch andere Beſtimmungen hinzutreten, wenn ein Einfluß gleichartiger Elemente auf einander möglich ſein ſoll. Im zweiten Falle iſt aber an den verglichenen Elementen *Gleiches* und *Entgegengeſetztes* zu unterſcheiden. Das Gleiche und Entgegengeſetzte ſind jedoch an den Elementen keine geſonderten oder trennbaren Stücke, nur die Vergleichung ſtellt es heraus. Die Qualität eines jeden Elements, verglichen mit der Qualität eines anderen von der nämlichen Art oder Gattung, erlaubt die Unterſcheidung — nicht wirkliche Trennung — deſſen, was dem anderen gleich und entgegengeſetzt iſt. Zwiſchen den Qualitäten je zweier Elemente kann das Gleiche oder das Entgegengeſetzte vorherrſchend ſein, und die Gegenſätze unter den Elementen können ſowohl nach Beſchaffenheit als auch nach Größe verſchieden ſein. Sollte nun nicht der Gegenſatz zwiſchen den Elementen, im Falle ihres Zuſammentreffens, einen realen Erfolg haben? Wahrſcheinlich iſt dies im hohen Grade. Schon die chemiſchen Proceſſe deuten mit Beſtimmtheit darauf hin, daß Ungleichartigkeit der Stoffe oder ein gewiſſer Gegenſatz zwiſchen denſelben das Princip der Anziehung oder die Bedingung ihrer Wechſelwirkung ſei. Dieſelben Proceſſe zeigen aber auch, daß die Theilchen ungleichartiger Stoffe mit einander in die innigſte Berührung kommen müſſen, wenn eine Wirkung zwiſchen ihnen ſtattfinden ſoll. In Bezug auf die einfachen Elemente (Atome) bietet ſich nun zunächſt folgendes dar.

Steht die Qualität eines Elements A mit der Qualität eines anderen B im Gegenſatze, ſo ſollte, ſobald dieſe Elemente zuſammentreffen, das Entgegengeſetzte

ihrer Qualitäten ſich aufheben. Dies iſt aber inſofern unmöglich, als das Entgegengeſetzte kein abtrennbares Stück iſt, ſondern nur in unauflöslicher Verbindung mit dem, was nicht im Gegenſatze ſteht, die eigenthümliche Qualität des Elements ausmacht. Alſo muß jedes der Elemente, ſo gewiß es unaufhebbar iſt, ſich nach ſeiner eigenen Qualität gegen die Störung, die ihm von dem Entgegengeſetzten des anderen droht, behaupten als das, was es iſt. Man kann die Qualitäten zweier entgegengeſetzter Elemente A und B *bildlich* durch die Formeln a + b und a + (— b) darſtellen, wo aber a und b keine wirklichen Glieder in den Qualitäten der einfachen Elemente darſtellen, ſondern in unauflöslicher Verbindung mit einander als ein vollkommen ſich ſelbſt gleiches, ſubſtantielles Eins gedacht werden müſſen. Eben ſo bezeichnet das (— b) in der Formel für die Qualität des B etwas durchaus Poſitives, aber dem + b im A Entgegengeſetztes, was durch das Zeichen: — angedeutet iſt. Kommen nun ſolche Elemente A und B zuſammen, ſo ſollte ſich ihr Entgegengeſetztes (+ b und — b) tilgen und nur ihr Gleichartiges a übrig bleiben. Da aber letzteres mit dem erſteren ein untheilbares Eins bildet, ſo bleibt nichts anderes übrig, als daß ſich jedes Element gegen das andere in ſeiner Qualität behauptet, als das, was es iſt. Die Störung, welche erfolgen *würde*, wenn das Entgegengeſetzte der beiden Elemente ſich aufheben *könnte*, gleicht einem Drucke, das Beſtehen gegen die Störung einem Widerſtande. Die Elemente beſtehen alſo in der Lage, worin ſie ſind, in und wider einander. Man erkennt, daß es ſich hier um eine Abänderung der Qualität handelt, die jedes Element des Gegenſatzes wegen von dem anderen erfahren ſollte, wogegen es aber reagirt und ſich ſelbſt behauptet als das, was es iſt. Eine Störung ſollte erfolgen, die Reaction hebt die Störung auf, dergeſtalt, daß ſie gar nicht eintritt. Und dieſe Reaction, welche unmittelbar dem Gegenſatze gilt, iſt eigentlich dasjenige, was hier wirklich geſchieht.

Die Reaction iſt alſo nichts anderes als ein Beſtehen gegen eine Störung, welche in dem Verhältniſſe der Qualitäten je zweier Elemente liegt. Auch geſchieht ſtets zweierlei zugleich, nämlich das Element A behauptet ſich als A und B als B. Jede Reaction, die von einem Elemente ausgeht, wenn es ſich gegen ein beſtimmtes andere in ſeiner Qualität behauptet, hat demnach ihren eigenthümlichen Charakter. Iſt der Gegenſatz zwiſchen den Elementen A und C ein anderer als der zwiſchen A und B, ſo muß auch die Reaction des A gegen C verſchieden ſein von der Reaction des nämlichen A gegen B.

Die Reactionen erfolgen unausbleiblich aus dem Gegenſatze der Qualitäten, wenn die Elemente zuſammentreffen. Sie fallen daher ganz weg bei vollkommen gleichartigen Elementen, wenn nicht ein ihnen ungleichartiges Element dazutritt. Wo kein Gegenſatz iſt, da kann auch keine Störung und deshalb auch keine Reaction erfolgen.

In den Reactionen liegt der Grund der Anziehung der Elemente, ſo wie überhaupt das, was man Cauſalität oder das Verhältniß zwiſchen Urſache und Wirkung nennt. Auch zeigt ſich hier die Nothwendigkeit eines Zuſammen (Ineinander) der Elemente, weil ſonſt die letzteren einander unzugänglich bleiben würden, und daher auch der Gegenſatz ihrer Qualitäten keinen Erfolg haben könnte.

In dem Gegenſatze der Elemente liegt ferner das, was die Chemie die *Verwandtſchaft* der Stoffe zu nennen pflegt. Entgegengeſetzte Elemente oder Stoffe ſind inſofern verwandt, als ſie eben wegen ihres Gegenſatzes in einander greifen

und gegen einander reagiren, was bei völlig gleichartigen Elementen, als ſolchen, nicht möglich iſt; dieſe verharren gleichgiltig in oder neben einander.

Wenn alſo zwei entgegengeſetzte Elemente zuſammen kommen, ſo verharren ſie, vermöge ihrer gegenſeitigen Reactionen, nothwendig in einander. Es komme nun ein Element B zuſammen mit zwei anderen A und A', die unter ſich von gleicher Qualität ſeien, während jedes von ihnen, einzeln genommen, mit jenem erſten im Gegenſatze ſtehe. Dann müſſen die beiden Elemente A, A', ſobald ſie mit B zuſammen ſind, ſich gegen daſſelbe vollſtändig in ihrer Qualität behaupten. Aber auch B muß ſich behaupten, und zwar gegen beide A zugleich, da es mit einem jeden von ihnen in demſelben Verhältniſſe des Gegenſatzes ſteht. Wenn nun die Reaction eines Elements keiner Steigerung ins Unendliche fähig iſt, ſondern ihr nothwendiges Maß hat, das nicht überſchritten werden kann; ſo wird in dem Falle, daß der Gegenſatz zwiſchen den Elementen A und B ein gleicher, d. h. ein ſolcher iſt, daß das eine Element eben ſo ſehr von dem anderen als dieſes von jenem geſtört wird, ſchon ein einziges A unter Vorausſetzung eines vollſtändigen Zuſammen mit B dieſes zu dem höchſten Grade der Reaction veranlaſſen. Iſt aber B mit beiden A zuſammen, ſo muß es gegen dieſelben eine zweifache vollſtändige Reaction ausüben, die doppelt ſo ſtark iſt als diejenige eines einzelnen A. Hierin liegt ein Princip der Repulſion, inſofern B einer Steigerung ſeiner Reaction über das natürliche Maß hinaus widerſtrebt. Da jedes A wegen des Gegenſatzes zu B gegen das letztere reagiren muß, ſo ſollten beide A in B verharren. Und dies kann man Anziehung nennen. Da aber B der zwiefachen, vollſtändigen Durchdringung, die ihm, dem einzelnen, von den beiden A zugemuthet wird, nicht entſprechen kann, ſo ſcheint es gegen ſie eine zurückſtoßende Gewalt auszuüben, die wir Repulſion nennen. Hätten nun die Elemente eine gewiſſe, wenn auch noch ſo geringe räumliche Ausdehnung, ſo könnte man ſagen: während B gegen beide A zugleich reagirt, vermindert ſich ſeine Durchdringung mit den letzteren ſo weit, bis deren Reactionen zuſammengenommen gleich ſind der einen vollen (höchſten) Reaction des B, welche ſchon dann ſtattfindet, wenn daſſelbe mit einem einzelnen A vollſtändig in einander iſt. In dieſem Falle einer partialen Durchdringung beſtände ein Gleichgewicht zwiſchen der attractiven und repulſiven Thätigkeit der Elemente. Iſt nämlich ein Element A mit B vollſtändig zuſammen, ſo kann man das Maximum der Reaction, welche jedes Element gegen das andere ausübt, = 1 ſetzen. Kommt nun noch ein zweites A hinzu, ſo übt daſſelbe gegen B ebenfalls eine Reaction = 1 aus, während B gegen dieſes A in demſelben Maße wie gegen jenes reagiren muß, ſo daß es demgemäß ſeine Reaction über den ſchon gewonnenen Maximalwerth hinaus erhöhen ſollte. Dieſer Forderung leiſtet B aber kein Genüge oder es leiſtet ihr nur inſofern Genüge, als es widerſtrebt. Daher müſſen die beiden A aus B herausweichen, und in dem Grade, als dies geſchieht, ihre Reaction gegen B vermindern. Das Gleichgewicht der Attraction und Repulſion von B gegen die beiden A iſt erreicht, ſobald die Reactionen der letzteren einzeln die Hälfte ihres Maximalwerthes betragen. Dann ſind die Reactionen der beiden A ($^1/_2 + {}^1/_2 = 1$) zuſammengenommen gleich der einen vollen Reaction des B, indem die erſteren ſich zu dem Maximalwerth der Reaction ergänzen. Leicht läßt ſich dieſes Reſultat auf mehrere gleichartige Elemente A übertragen, wenn ſie mit einem ihnen entgegengeſetzten B zuſammenkommen. Je größer die Anzahl jener Elemente iſt, deſto geringer ihre Durchdringung mit dem anderen B. Wären z. B. der gleichartigen

Elemente drei vorhanden, ſo würden dieſelben nur ſo tief in B eindringen, bis ihre Reactionen zuſammen der vollen Maximalreaction von B gleichkämen. Die Reaction jedes einzelnen A würde dann $^1/_3$ des Maximums betragen, das die Reaction in einem A überhaupt erreichen kann, und die Reactionen aller drei A würden dann insgeſammt ($^1/_3 + {}^1/_3 + {}^1/_3 = 1$) die volle Reaction ergeben, welche mit der höchſten Reaction des B in einem angemeſſenen Gleichgewichte ſtände. In ſolcher Weiſe mit einander verbunden, würden die Elemente kleinſte materiale Maſſentheilchen bilden, die ſich wieder unter einander zu einem größeren materiellen Ganzen verbinden könnten, dem nicht allein eine beſtimmte Cohäſion und Dichte, ſondern auch, wie ſich leicht nachweiſen ließe, eine beſtimmte Geſtaltung zukommen müßte.

Aber einfache Elemente, wird man ſagen, haben keine Ausdehnung, und deshalb kann auch keine partiale Durchdringung zwiſchen ihnen ſtattfinden. Wenn ſolche Elemente zuſammen ſind oder auf irgend eine Weiſe zuſammen kommen, ſo mögen zwiſchen ihnen immerhin die erörterten Kraftverhältniſſe auftreten; ſie werden dann, in Folge derſelben, wieder aus einander getrieben, in dieſem Außereinander aber, ſo lange keine neuen Beſtimmungen hinzukommen, nur ein loſes Aggregat bilden, das nichts darbietet, was an die wirklich gegebene Materie erinnern könnte. Dennoch hat Herbart, von welchem die eben entwickelte Lehre in der Hauptſache herrührt, geſtützt auf die Fiction einer Theilbarkeit des einfachen Punktes oder, was daſſelbe iſt, geſtützt auf den Begriff eines unvollkommenen Zuſammen einfacher Punkte, eine Conſtruction der Materie geliefert, welche auf einer partialen (theilweiſen) Durchdringung der einfachen Elemente beruht. Zwei Punkte, deren Entfernung = 0 iſt, müſſen hiernach nicht, wie es die gewöhnliche Anſicht verlangt, nothwendig als in einander gedacht werden, ſondern ſollen auch aneinander gedacht werden können. Zwiſchen dem Aneinander und vollſtändigen Ineinander liegt dann das unvollkommene Zuſammen dieſer Punkte oder, auf die einfachen Elemente übertragen, deren partiale Durchdringung. Wir können dies hier nicht weiter zum Gegenſtande unſerer Betrachtung machen, ſondern müſſen auf die betreffenden Stellen bei Herbart*) verweiſen. Mir ſelbſt hat ſich eine Anſicht von der Bildung der Materie aus einfachen Elementen dargeboten, die ich in ihren Hauptzügen nachſtehend zur Darſtellung bringen will.

Wenn zwei einfache Elemente A und B von entgegengeſetzter Qualität zuſammen ſind, ſo muß jedes gegen das andere, auf Grund des Gegenſatzes, eine Reaction ausüben. Beide Elemente verharren dann nicht gleichgiltig in einander, ſondern jedes ſucht ſich in dem anderen zu erhalten, indem das eine gegen das andere reagirt. Hierin liegt das Princip der Anziehung. Kommt nun noch ein zweites dem A oder B gleichartiges Element hinzu, ſo findet natürlicher Weiſe auch zwiſchen ihm und dem entgegengeſetzten Element (es ſei dies beiſpielsweiſe B) eine gegenſeitige Reaction ſtatt. Damit entſteht aber zugleich ein Conflict zwiſchen den beiden gleichartigen Elementen A; ſie drängen gegen einander, indem ſich jedes gegen das andere in B zu behaupten ſucht, und kraft dieſes Conflicts müſſen ſie einander aus B nach entgegengeſetzten Richtungen verdrängen. Aber dies geſchieht nur, indem jedes A ſo viel als möglich widerſtrebt; denn jedes ſucht in B

*) Allgemeine Metaphyſik. Thl. II. S. 161 ff., S. 270 ff.; auch Hartenſtein, Grundlehren der allgemeinen Metaphyſik. Leipzig 1836. S. 358.

zu verharren, und ist also im Augenblick seines Hervordringens aus letzterem zu zwei Bewegungen in entgegengesetzten Richtungen angeregt. Darum ist auch die Bewegung der beiden A, von B hinweg, schon im Anfange einer Beschränkung oder Hemmung unterworfen; und da sofort mit dem Beginn des Außereinander dieser Elemente ihr Conflict verschwindet, während ihr Streben zur entgegengesetzten Bewegung, nämlich nach B hin, fortdauert, so muß jene Bewegung rückgängig werden, oder die Elemente A müssen wieder von entgegengesetzten Seiten her in B eindringen. Hier entsteht derselbe Conflict von Neuem; die Elemente A dringen wieder aus B hervor, kehren aber auch aus demselben Grunde wieder zu ihm zurück u. s. f. So vollziehen die beiden Elemente A, in Folge der Kraftverhältnisse, welche aus ihrem ersten Zusammen mit B hervorgehen, unaufhörlich eine oscillatorische Bewegung, die ihr Zusammensein mit B abwechselnd aufhebt und wieder herstellt. Wird aber eines der Elemente A, etwa A', durch irgend eine äußere Ursache in seiner Bewegung aufgehalten, so daß es etwas später als das andere A auf B trifft, so wird dieses A mit B zusammen bleiben; und weil es im Moment seines Zusammentreffens mit B den Gegendruck von Seiten des A' nicht erfährt, so kann es seine Bewegung, in die es B mit hineinzieht, nach A' hin fortsetzen. Dadurch kommen aber bald alle drei Elemente wieder zusammen; es entstehen unter ihnen von Neuem die beschriebenen Kraftverhältnisse, und durch diese auch wieder die vorigen Bewegungsverhältnisse. Die drei Elemente, so mit einander verknüpft, bilden zwar noch kein materielles Molecül, zeigen noch keine feste räumliche Gestaltung, aber der Anfang zur Bildung der Materie aus einfachen Elementen ist durch diese Bewegungsverhältnisse gegeben. Bevor wir dies jedoch weiter entwickeln, wollen wir zunächst an einiges Bekannte erinnern.

Nach der gewöhnlichen physikalischen Atomistik denkt man sich die Körper aus untheilbaren Elementen oder Atomen zusammengesetzt, die anziehend und abstoßend auf einander wirken, über deren Gestalt und Ausdehnung aber keine bestimmte Ansicht vorliegt. Solche Atome gruppiren sich nach bestimmten quantitativen Verhältnissen zu zusammengesetzten Atomen oder sogenannten Molecülen, welche wieder zu einem größeren materiellen Ganzen zusammentreten können. Der Abstand der einzelnen Atome wird aber größer gedacht als ihre Ausdehnung, falls man ihnen eine solche zugesteht, und die zusammengesetzten Atome oder Molecüle sollen in noch größeren Distanzen, als die einzelnen Atome, von einander abstehen. Die Atomgruppe, welche man Molecül oder kleinstes Massentheilchen oder wohl auch ein Atom höherer Ordnung nennt, hat, je nach der Stellung der einzelnen Atome in derselben, eine bestimmte Gestalt, durch welche natürlicher Weise auch die Gestaltung des größeren Ganzen bedingt ist. Wenn nun ungleichartige Stoffe unter den gehörigen Umständen zusammenkommen, so entsteht aus ihnen ein neuer Körper, indem die Atome dieser Stoffe sich auf bestimmte Weise zu zusammengesetzten Atomen (Molecüle) verbinden, die dann unter einander den neuen Körper zusammensetzen. So bildet z. B. 1 Atom Wasserstoff mit 1 Atom Sauerstoff 1 Atom oder kleinstes Massentheilchen Wasser; und viele solcher Massentheilchen bilden zusammen eine größere Wassermenge. In ähnlicher Weise entsteht aus 1 Atom Schwefel und 3 Atomen Sauerstoff 1 Atom (oder kleinstes Massentheilchen) Schwefelsäure, und aus 1 Atom Sauerstoff mit 1 Atom eines metallischen Stoffes: Kalium 1 Atom (Massentheilchen) Kaliumoxyd oder Kali. Beide, die Schwefel-

säure und das Kali, können sich wieder zu einem neuen Körper, zu einem Salze verbinden, das man schwefelsaures Kali nennt, indem sich je 1 Atom Schwefelsäure mit je 1 Atom Kali zu einem Massentheilchen gruppirt, deren viele zusammen ein größeres Quantum dieses Salzes bilden. Jede chemische Verbindung, die einen bestimmten Körper darstellt, erscheint sonach als eine Gruppe mehr oder weniger zusammengesetzter Atome oder Massentheilchen, deren letzte Glieder jene nicht weiter theilbaren Atome sind.

Die Theilbarkeit der Körper, welche nicht ins Unendliche gehen und daher auch keine continuirliche Raumerfüllung durch die Materie zulassen kann, und eine Menge von Erscheinungen, welche die Materie in ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften darbietet, fordern diese atomistische Vorstellungsweise. Schon die Natur eines jeden Krystalles weist auf eine atomistische Constitution hin. Diese Atomenlehre gewährt zwar noch keine tiefere Einsicht in das eigentliche Wesen der Materie, aber sie ist einer beträchtlichen Erweiterung und Verfeinerung fähig, und kann vielleicht zu einem selbst die höheren naturwissenschaftlichen Bedürfnisse befriedigenden Abschlusse gelangen, wenn sie die Atome als schlechthin einfache Elemente auffaßt. Ihre weitere erfolgreiche Ausbildung hängt dann von der Beantwortung der Frage ab, wie diese einfachen Atome, ohne daß sie unmittelbar (durch den leeren Raum) auf einander wirken, doch unter sich Kraftverhältnisse entfalten, welche aus ihnen ein räumliches Ganze mit solchen Eigenschaften entstehen lassen, wie sie die erfahrungsmäßig gegebene Materie darbietet.

Die Erscheinungen des Lichts und der Wärme, obschon dieselben sich weit über den Umfang der gegebenen Körper hinaus in den umgebenden Raum erstrecken, treten doch immer an der wägbaren Materie hervor, so daß sie jedenfalls durch die Thätigkeit der letzteren, wenn auch nicht ausschließlich, so doch wenigstens theilweise bedingt sind. Aehnliches gilt von den Erscheinungen der Elektricität. Anderseits deuten aber diese Erscheinungen wieder auf etwas von der Materie Unabhängiges und Selbstständiges, als auf ihr Ursächliches hin. Wenn Licht und Wärme von einem Körper ausgehen und auf einen anderen treffen, so werden in diesem, allerdings je nach dessen Natur, Erscheinungen bewirkt, die man nicht ohne Weiteres auf eine bloße, durch jenen Körper veranlaßte, Selbstthätigkeit desselben zurückführen kann.

Wenn wir sehen, wie ein Körper durch die Wärme ausgedehnt wird, wenn wir weiter beobachten, daß der Körper seine bisherige Aggregatform verliert und eine davon verschiedene erhält, so müssen wir wohl annehmen, daß etwas von den Massentheilchen der Körper Verschiedenes und Selbstständiges in den Zusammenhang derselben eingreift und mit ihnen in Wechselwirkung tritt. Die physikalische Atomistik hat nun auch schon längst außer denjenigen Atomen, welche als Grundbestandtheile der wägbaren Materie betrachtet werden müssen, noch andere Atome angenommen, die sie unter dem Namen Aether zusammenfaßt. Die Atome des Aethers sollen sich gegenseitig abstoßen, während zwischen jedem Atome der wägbaren Materie und Aetheratome Anziehung stattfindet. So ist um jedes Atom der Materie eine Aethersphäre gruppirt, deren Elemente mancherlei Einwirkungen von Seiten der Körperatome empfangen können, wenn diese durch irgend eine Ursache aus ihrer Gleichgewichtslage verrückt werden. Dadurch können die Atome der Aethersphären und weiterhin auch die Aetheratome im umgebenden Raume in gewisse Bewegungszustände versetzt werden, die sich von Atom zu Atom auf benach-

barte Körper fortpflanzen und in dieſen entſprechende Veränderungen hervorbringen. Die Fortpflanzung der ſtrahlenden Wärme und deren Wirkung bietet hierzu ein bekanntes Beiſpiel.

Gehen wir von hier aus zurück zu unſerer oben begonnenen Vergleichung der einfachen Elemente, ſo führt dieſe faſt von ſelbſt zur möglichen Exiſtenz von ſolchen Elementen, die man in der phyſikaliſchen Atomiſtik unter dem Namen des Aethers zuſammenfaßt. Die Qualitäten der einfachen Elemente können gleich ſein, aber auch in beſtimmten Gegenſätzen unter einander ſtehen. Der Gegenſatz kann nicht allein mehr oder minder ſtark ſein, ſondern auch noch eine andere Art des Unterſchiedes darbieten, je nachdem entweder ſchon Ein Element A hinreicht, um ein anderes B zu einer vollſtändigen Reaction, nämlich zu dem möglichen Maximum derſelben, das ſich als Einheit betrachten läßt, zu veranlaſſen, oder erſt mehrere Elemente a denjenigen Grad der Reaction hervorzubringen vermögen, deſſen B überhaupt fähig iſt, ſo daß der Grad der Reaction, zu welchem B durch ein a gebracht wird, als ein Bruchtheil der Einheit anzuſehen iſt. Dieſe Verſchiedenheit läßt ſich als *Gleichheit* und *Ungleichheit* des Gegenſatzes bezeichnen. Stehen alſo die Elemente A und B in einem gleichen Gegenſatze zu einander, ſo werden ſich beide Elemente, falls ſie zuſammen ſind, zu dem höchſten Grad der Reaction, deſſen ſie überhaupt fähig ſind, veranlaſſen. Kommt aber noch ein zweites Element A hinzu, ſo wirkt B repulſiv, indem es der Erhöhung ſeiner Reaction über das mögliche Maximum hinaus widerſtrebt. Iſt aber der Gegenſatz zwiſchen zwei Elementen B und a ein ungleicher, ſo daß etwa zwei Elemente der Art a nöthig ſind, um in B das Maximum der Reaction hervorzubringen, ſo wird die Reaction von B gegen ein einzelnes a: $= 1/2$ der ganzen Reaction in B ſein. Die beiden a werden in dieſem Falle mit B zuſammen bleiben können, ſo lange bis ein drittes a hinzukommt, wo dann das Element B, zufolge der geforderten Erhöhung ſeiner Reaction über das natürliche Maximum hinaus, wieder repulſiv wirkt. Doch wird auch hier zwiſchen den Elementen a ſelbſt ſchon früher, noch ehe das dritte hinzukommt, Repulſion eintreten, inſofern ſie nämlich mit einander in Conflict gerathen, indem jedes *gegen* das andere in B zu verharren ſtrebt. Sie verdrängen ſich aus dem letzteren nach entgegengeſetzten Richtungen, jedoch, da mit dem Außereinander ihr Conflict wegfällt, mit der Bedingung bald darauf wieder (durch eine rückgängige Bewegung) in B einzudringen. Wie bei dem gleichen, ſo können auch bei einem ungleichen Gegenſatze im Grunde nie mehr als zwei qualitativ entgegengeſetzte Elemente (B und a) zuſammen bleiben; ſobald ein zweites a hinzukommt, entſteht nothwendig Repulſion, die im Verein mit der Attraction oder dem Beſtreben der Elemente a, in B zu verharren, zu jener oscillatoriſchen Bewegung der Elemente a in Bezug auf das eine B führt. Der Unterſchied liegt nur darin, daß bei einem ungleichen Gegenſatze erſt dann eine repulſive Thätigkeit von Seiten des einen Elements, das wir hier B nennen, erwacht, wenn eine gewiſſe Anzahl anderer Elemente, die mehr als *zwei* beträgt, überſchritten wird; während dieſelbe bei einem gleichen Gegenſatze zwiſchen den Elementen A und B *ſogleich* hervortritt, falls ein zweites A oder auch ein zweites B hinzukommt.

Die Gleichheit und Ungleichheit des Gegenſatzes hat namentlich Bedeutung in Hinſicht auf das quantitative Verhältniß, nach welchem ſich die Elemente zuſammen gruppiren. Eine Ungleichheit des qualitativen Gegenſatzes unter den Elementen, über deren mögliche Anzahl nichts entſchieden werden kann und auch

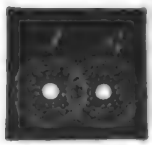
nichts entſchieden zu werden braucht, iſt aber a priori gewiß eben ſo wahrſcheinlich als die vollkommene Gleichheit deſſelben. Der Gegenſatz zwiſchen Einem Element B und gewiſſen anderen c kann nun auch ſo ungleich ſein, daß eine ſehr große Anzahl dieſer Elemente nöthig iſt, um jenes erſte zum Maximum der Reaction zu veranlaſſen, dergeſtalt alſo, daß ſehr viele derſelben mit B zuſammen ſein können, ehe ihnen von Seiten des letzteren eine repulſive Thätigkeit entgegentritt. Vermöge des Conflicts aber, der zwiſchen den Elementen c in B ſtattfindet, weichen ſie aus dieſem nach allen Seiten (in der Richtung der Radien, die man ſich von B aus gezogen denken kann) heraus, um bald darauf wieder in daſſelbe einzudringen. Und wenn ſie bei dieſer oscillatoriſchen Bewegung auf andere Elemente c (außerhalb B) treffen, ſo können ſie dieſe mit in die Bewegung hineinziehen, und gewiſſermaßen zu B hinführen. Sobald aber in B der Elemente c ſich ſo viele begegnen, daß jenes das Maximum ſeiner Reaction überſchreiten müßte, um ſie alle in ſich zu erhalten, geſellt ſich zu dem Conflict, welcher zwiſchen den einzelnen Elementen c beſteht, noch die repulſive Thätigkeit von Seiten des B, wodurch eine Vergrößerung der Schwingungsweite der oscillirenden Elemente c bewirkt wird. Die letzteren bilden zuſammen eine verdichtete Sphäre um das eine Element B, das für ihre oscillatoriſche Bewegung das gemeinſame Centrum und zugleich der Urſprung iſt. Alle Elemente, welche ſich auf einem und demſelben Radius einer ſolchen Sphäre befinden, beginnen zwar gleichzeitig ihre Bewegung nach dem Centrum hin, können aber daſſelbe nicht alle auch gleichzeitig erreichen, ſondern während die dem Centrum zunächſt gelegenen Elemente aus dieſem ſchon wieder herausweichen, ſind vielleicht die weiter zurückſtehenden erſt im Begriff, in daſſelbe einzudringen. Es werden alſo wahrſcheinlicher Weiſe nicht alle Elemente einer vollſtändig ausgebildeten Sphäre mit dem Element B wieder ganz zuſammen kommen; aber alle Elemente werden doch eine gemeinſame Bewegung abwechſelnd nach dieſem Element hin und von demſelben hinweg haben. Die Sphäre wird ſich demgemäß abwechſelnd verdichten und ausdehnen.

Diejenigen einfachen Elemente nun, welche unter einander in einem ſtarken, aber gleichen oder doch nicht ſehr ungleichen Gegenſatze ſtehen, betrachten wir als die eigentlichen Grundbeſtandtheile der Materie. Die anderen dagegen, welche mit dieſen Grundelementen und gewiſſermaßen Kernpunkten der Materie einen ſehr ungleichen Gegenſatz bilden, und ſich demgemäß in ſehr großer Anzahl um jedes einzelne derſelben dauernd gruppiren können, machen zuſammen den ſogenannten Aether aus, deſſen mögliche Exiſtenz ſich aus einer vergleichenden Betrachtung der Elemente (bezüglich ihrer Qualität) ergeben hat. Auch die phyſikaliſche Atomiſtik nimmt, wie bereits erwähnt iſt, Aetheratome an, von denen ſie ohne Weiteres vorausſetzt, daß eine ſehr große Anzahl derſelben ſich um jedes Atom der wägbaren Materie, vermöge wechſelſeitiger Anziehung, gruppiren könne.

Kommen nun zwei ungleichartige Elemente A und B, von denen jedes, auf die angegebene Weiſe, mit einer Atherſphäre umgeben iſt, einander hinreichend nahe, ſo werden ihre Aetherſphären in einander greifen, und auf der Seite, wo dies ſtattfindet, Elemente der einen Sphäre mit denen der anderen zuſammentreffen. Dieſe zuſammentreffenden Aetherelemente, obwohl an ſich gleichartig, befinden ſich doch, da ſie den ungleichartigen Elementen A und B angehören, in entgegengeſetzten Reactionszuſtänden, und können deshalb auch gegen einander eine Reaction ausüben, die einer Anziehung gleichgeltend iſt. Wie dem aber auch ſein

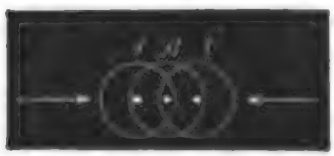
mag, jedenfalls werden die Aetherelemente, welche beim Ineinandergreifen der beiden Sphären zuſammentreffen, ſich in ihrer Bewegung verzögern, ſo daß die auf der entgegengeſetzten Seite befindlichen Elemente in dem Moment, wo die Sphären ſich zuſammenziehen, den bisherigen Druck von der anderen Seite her nicht mehr in dem Maße wie ſonſt erfahren werden. Die Sphären müſſen alſo in Folge der Verzögerung, welche die Elemente auf der Innenſeite, in ihrer Bewegung nach den Centralelementen A und B hin, erleiden, (ſ. Fig. I.) auf die letzteren einen ſtärkeren Druck von der Außenſeite her ausüben.

I.



Und deshalb müſſen die beiden Elemente A und B ſich einander nähern, bis wieder ein neues Gleichgewichtsverhältniß zwiſchen den oscillirenden Aetherelementen ſich hergeſtellt hat. Kommt nun zu B noch ein zweites Element A' hinzu, ſo wird ſich zwiſchen beiden das vorige Ereigniß wiederholen. Doch erfährt B keine Ortsveränderung, inſofern es auf beiden Seiten derſelben Einwirkung unterliegt; wohl aber müſſen die beiden A (ſ. Fig. II.), weil der Druck ihrer Aetherſphären auf der Außenſeite das Uebergewicht hat, in der Richtung der Pfeile zu dem Element B hindrängen, bis ein gewiſſes Gleichgewicht zwiſchen den Druckverhältniſſen aller drei Aetherſphären eingetreten iſt. Dabei können die letzteren dergeſtalt in einander getrieben werden, daß jedes Centralelement innerhalb der Sphäre des benachbarten Elements zu liegen kommt. Die drei Elemente A, B und A' verharren nun in beſtimmten Abſtänden von einander, und jede Verrückung des einen Elements wird eine entſprechende Bewegung des anderen zur Folge haben. Nehmen wir z. B. an, daß das eine Element A' durch irgend eine Urſache etwas von dem mittleren entfernt werde, ſo iſt das Gleichgewicht des Druckes von Seiten der beiden Sphären um A gegen B hin geſtört. Die Sphäre des Elements A übt jetzt einen ſtärkeren Druck aus als die um A', ſo daß jene ſammt dem Element B nach A hin fortrücken muß. Wird umgekehrt A' durch irgend eine Urſache in B tiefer eingedrückt, ſo werden natürlicher Weiſe auch die beiden anderen Elemente mit ihren Sphären eine Verrückung in demſelben Sinne erfahren, falls ihnen in der Richtung des ſtärkeren Druckes freie Bewegung geſtattet iſt. Auch werden die drei Elemente ſtets eine lineare Anordnung zu behaupten ſuchen. Wäre das zweite A' mit B nicht gerade auf der entgegengeſetzten Seite zuſammengetroffen, ſondern irgend wo anders, z. B. wie die Figur III. angiebt; ſo würde die Bewegung der Aetherelemente zwiſchen B und jedem A, da wo die Sphären in einander greifen, wie ſonſt verzögert werden. In dieſem Falle könnte aber das Element B, während die beiden A tiefer in daſſelbe einzudringen ſtreben, nicht in Ruhe bleiben, weil es nicht wie oben nach entgegengeſetzten Richtungen hin dieſelbe Einwirkung erleidet, ſondern es giebt jetzt für B zwei Richtungen des ſchwächeren Druckes, die mit einander einen Winkel einſchließen. Nach dieſen Richtungen, die man erhält, wenn man ſich das Centrum der Sphäre um B, alſo das letztere ſelbſt mit den beiden anderen Centralelementen durch gerade Linien verbunden denkt, ſtrebt das Element B nach A und A' hin. Die wirkliche Bewegung des Elements B muß demnach in einer mittleren Richtung

II.



III.

erfolgen, und daraus reſultirt, indem B zwiſchen A und A' tiefer eindringt, nothwendig eine lineare Anordnung dieſer drei Elemente. — Drei Elemente von der Art A werden um das eine Element B ein gleichſeitiges Dreieck, vier ein Quadrat und acht einen Cubus um daſſelbe formiren (ſ. Fig. I.). Da nun die Aetherelemente, welche den nicht in einander greifenden Theilen der Sphären angehören, gegen die betreffenden Centralelemente A einen ſtärkeren Druck ausüben als die auf der Innenſeite befindlichen Aetherelemente, ſo werden die Elemente A nach dem mittleren Element B hingetrieben. Sobald aber dem äußeren Drucke, nach Herſtellung eines gewiſſen Gleichgewichts, wieder ein innerer Druck von angemeſſener Stärke entgegenwirkt, müſſen die Elemente A in beſtimmten Abſtänden von B verharren.

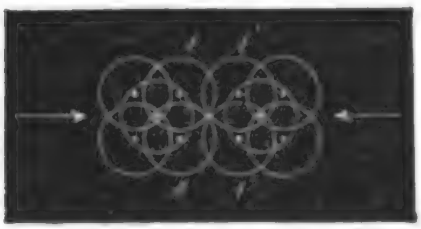
I.

Die Atome oder Elemente A, ſo durch ihre Aetherſphären mit dem Element B verbunden und um daſſelbe gruppirt, bilden Molecüle oder kleinſte Maſſentheilchen von beſtimmter Geſtaltung. Jene Elemente können nicht in unbegrenzter Anzahl, ſondern höchſt wahrſcheinlich nur nach einem beſtimmten quantitativen Verhältniß ſich um das eine Element B in angemeſſener Weiſe gruppiren, ſo daß, wenn ihrer ſehr viele mit dem letzteren zuſammentreffen, Bewegungsverhältniſſe entſtehen, durch welche ein Theil derſelben entfernt und von der Verbindung ausgeſchloſſen wird. Dagegen können ſolche Elemente A mit einem neuen B ein zweites Maſſentheilchen dieſer Art bilden, u. ſ. f. Die Geſtalt dieſer Molecüle iſt aber durch das eben erwähnte quantitative Verhältniß bedingt. Wie nun zwei Elemente A, falls ſie auf ein Element B treffen, mit dieſem eine lineare Anordnung bilden, ſo müſſen auch mehrere A ſich auf eine beſtimmte regelmäßige Weiſe um Ein B gruppiren, wie es das Gleichgewicht zwiſchen den Druckverhältniſſen der verſchiedenen Aetherſphären um A gegen die Sphäre um B verlangt.

Bei anderen Maſſentheilchen kann, gemäß dem Gegenſatze der ſie conſtituirenden Grundelemente, das quantitative Verhältniß und die Geſtaltung eine andere ſein. Wenn z. B. Ein Element C ſechs andere Elemente von der Art A dauernd um ſich gruppiren kann, ſo werden die letzteren zuſammen ein Octaëder um das erſtere bilden.

Viele Maſſentheilchen von derſelben Art können ſich nun zu einem größeren gleichartigen Ganzen gruppiren, wenn ſie mit einander in hinreichend nahe Berührung kommen. Treffen z. B. zwei würfelförmige Maſſentheilchen zuſammen, ſo wird zwiſchen den Aetherſphären A, A' (Fig. II.) das bereits in Erwägung gezogene Ereigniß ſtattfinden; die Aetherelemente an der Berührungsſeite werden in ihrer Bewegung, nach den Centralelementen hin, verzögert, ſo daß der Druck nach der entgegengeſetzten Seite hin vermindert wird. Da alſo der äußere Druck in der Richtung der Pfeile das Uebergewicht hat, ſo werden die beiden Maſſentheilchen tiefer in einander gedrängt und die Hauptcentralelemente derſelben einander näher gerückt; es iſt ſo, als ob zwiſchen beiden eine gegenſeitige Anziehung ſtattfände. Aber auch hier muß ſich ein beſtimmtes Gleichgewicht zwiſchen dem inneren und äußeren Druck herſtellen; und wie ſchon jedem kleinſten Maſſentheilchen

II.



eine bestimmte Gestalt und, gemäß dem Abstande seiner Grundbestandtheile, eine bestimmte Dichte zukommt, so gilt dies auch von dem größeren Ganzen, das aus einer gewissen Anzahl von Massentheilchen constituirt ist. Die Grundelemente der letzteren können durch äußere Einwirkungen (Zug und Druck) von einander entfernt und einander genähert werden, aber sie streben mit Nothwendigkeit stets wieder zurück in die normale Position, welche durch das Gleichgewicht jener Druckverhältnisse bedingt ist. Daher ist die Materie innerhalb gewisser Grenzen, die bei verschiedenen Arten natürlich mehr oder weniger weit aus einander liegen, vollkommen elastisch.

Aus solchen kleinsten Massentheilchen müssen wir uns alle Körper zusammengesetzt denken, unter ihnen auch die Metalle, so wie überhaupt die sogenannten chemischen Grundstoffe. Die Elemente aber, welche diese Massentheilchen constituiren, können durch ihre Kraftverhältnisse so unauflöslich mit einander verknüpft sein, daß nur die Verbindung der Massentheilchen unter einander einer Trennung fähig ist. Die Massentheilchen ungleichartiger Körper vereinigen sich dagegen in bestimmten Verhältnissen, welche die Chemie lehrt, zu neuen Massentheilchen höherer Ordnung, welche sich wieder zu einem größeren Ganzen gruppiren können. Dies muß im Allgemeinen nach denselben Gesetzen geschehen, welche für die ursprünglichen Elemente galten, als sie sich zu jenen kleinsten Körpertheilchen mit einander vereinigten. Was aber die Gestalt der Theilchen (Molecüle) des neu entstandenen Körpers betrifft, so hängt dieselbe natürlich von den Formen der kleinsten Massentheilchen (oder Molecüle) ab, welche den ungleichartigen Stoffen, aus denen er sich bildet, zugehören. Aus den Betrachtungen, die wir darüber angestellt haben, folgt, daß die Gestalt derselben meistens eine polyedrische sein wird.

Massentheilchen von bestimmter regelmäßiger Form können sich so mit einander verbinden, daß das aus ihnen gebildete Ganze im Innern und Aeußeren eine große Regelmäßigkeit zeigt, so daß also der Abstand der Atome und Massentheilchen nach allen Richtungen derselbe ist. Aber es lassen sich noch mehr Fälle denken, wo dies nicht stattfindet, Fälle, wo der Abstand der einzelnen Elemente oder Atome nach verschiedenen Richtungen ein ungleicher wird, wenn verschiedenartige Massentheilchen sich zu einem neuen zusammensetzen. Dann wird natürlich auch der aus diesen neuen Massentheilchen bestehende Körper nach verschiedenen Richtungen eine ungleiche Dichte haben müssen, was eben so für den Aether gilt, der um die einzelnen Atome gruppirt ist und mit diesen die Materie constituiren hilft.

Alle Massentheilchen, deren Elemente in demselben quantitativen Verhältnisse zu einander stehen, müssen dieselbe Gestalt annehmen, falls die sonstigen Umstände gleich sind. Besteht z. B. ein Massentheilchen aus Einem Element von der Art b und acht Elementen von der Art a, so wird seine Gestalt ein Würfel sein. Dieselbe Gestalt wird aber auch ein Massentheilchen annehmen, welches aus den Elementen β und α in dem Verhältnisse von 1 : 8 zusammengesetzt ist. Denn in dem einen, wie in dem anderen Falle werden die acht gleichartigen Elemente sich auf Grund derselben Kraftverhältnisse um das entgegengesetzte möglichst gleichmäßig zu gruppiren suchen. Die Gestalt wird daher dieselbe sein, mögen auch die Elemente der Massentheilchen in beiden Fällen noch so verschieden sein. Ein gleiches Verhalten muß nun auch bei verschiedenen chemisch zusammengesetzten Körpern stattfinden, deren ungleichartige Massentheilchen (Atomgruppen) in demselben quantitativen Verhältnisse zusammentreten. Doch kann hier, wo die nächsten constituirenden Bestandtheile nicht einfache Elemente, sondern Combinationen aus

denſelben ſind, bei verſchiedenen Körpern neben der gleichen äußeren Kryſtallgeſtalt, die durch das gleiche quantitative Verhältniß jener Beſtandtheile bedingt iſt, auch eine gewiſſe Verſchiedenheit in der inneren phyſikaliſchen Conſtitution beſtehen, welche ihren Grund darin haben könnte, daß die einfachen Atome in den Maſſentheilchen dieſer Körper nicht eine vollkommene gleiche Anordnung beſitzen. (Vergl. Art. Iſomorphismus.)

Die Atome derſelben Maſſentheilchen, welche in beſtimmten quantitativen Verhältniſſen einen Körper bilden, können unter verſchiedenen Umſtänden ſich auf verſchiedene Weiſe gruppiren und dadurch Verbindungen liefern, welche bei derſelben procentiſchen Zuſammenſetzung und demſelben Atomgewichte eine ſehr merkliche Verſchiedenheit in ihrer chemiſchen Natur zeigen. Derartige Verbindungen nennt man in der Chemie metameriſche, während man unter polymeriſchen Körpern ſolche verſteht, welche bei gleicher procentiſcher Zuſammenſetzung ein verſchiedenes Atomgewicht beſitzen, ſo daß alſo hier die abſolute Anzahl der verſchiedenartigen Atomgruppen, welche in die Verbindung eingehen, nicht dieſelbe iſt. Die organiſche Chemie giebt zahlreiche hierher gehörige Beiſpiele. Zu dem letzteren Falle gehören in der unorganiſchen Chemie die unterſchweflige Säure ($S^2 O^2$) und die Pentathionſäure ($S^5 O^5$), die beide aus Schwefel und Sauerſtoff in demſelben relativen Verhältniß beſtehen. (Vergl. Art. Iſomerie.)

Wenn ungleichartige Maſſentheilchen ſich zu einem neuen Maſſentheilchen höherer Ordnung zuſammenſetzen, ſo findet dabei, nach den bereits dargelegten Principien, ein tieferes Ineinandergreifen derſelben, alſo eine Verdichtung ſtatt. Die Elemente der Aetherſphären gerathen in neue Oscillationszuſtände, die ſich durch den Aether im umgebenden Raume auf die Atherſphären anderer Körper übertragen, deren Grundbeſtandtheile dann gleichfalls einer gewiſſen Einwirkung unterliegen müſſen. Man erkennt nun leicht, daß hieraus die Erſcheinungen des Lichts und der Wärme reſultiren können, welche mit chemiſchen Verbindungen und Trennungen ſo häufig verbunden ſind. Dieſe Erſcheinungen haben ihren Urſprung an der Materie, inſofern als der Aether einen weſentlichen Beſtandtheil derſelben ausmacht; ſie gehen von der Materie aus, und können ſich, weil jene Bewegung der Aetherelemente auf den benachbarten Aether übergeht, weiter im Umgebungsraume fortpflanzen.

Wenn nun die Aetherſphären verſchiedener Elemente ſo weit in einander greifen, daß jedes Centralelement der einen Sphäre von der anderen umſchloſſen iſt (ſ. Fig. S. 944), ſo wird dadurch ein feſterer Zuſammenhalt zwiſchen dieſen Elementen bewirkt, die dann nicht nur in beſtimmten Abſtänden (ſ. Fig. I.), ſondern auch in einer beſtimmten gegenſeitigen Lage zu verharren ſtreben. Und dies entſpricht dem Falle der ſtarren Materie. Wenn aber irgend eine Urſache eine ſolche oscillatoriſche Bewegung der Aetherelemente veranlaßt, welche dem Drucke der Aetherſphären von Innen nach Außen das Uebergewicht verſchafft, ſo werden ſich die Centralelemente bis zur Herſtellung eines neuen Gleichgewichts von einander entfernen müſſen. Geht nun dieſe Entfernung ſo weit, daß das eine Centralelement aus der Sphäre des benachbarten Elements herausgerückt wird (ſ. Fig. II.), dergeſtalt alſo, daß nur noch ein Ineinandergreifen der Aetherſphären ſtattfindet, ſo iſt die Aggregation der Elemente eine andere geworden. Die eine Aetherſphäre wird ſich jetzt leicht an der anderen verſchieben laſſen, wobei das betreffende Centralelement eine Drehung um

I. II.

das andere erfährt. Diese Elemente haben dann eine leichte, freie Beweglichkeit nach allen Richtungen gewonnen, und dies ist das charakteristische Kennzeichen der tropfbaren Flüssigkeiten. Es versteht sich aber von selbst, daß das eben Erörterte noch gerade so gelten wird, wenn man anstatt der einfachen Atome Atomgruppen oder Massentheilchen als Centra der Aetherſphären annimmt. Wirkt nun die Ursache, welche in Folge einer oscillatorischen Bewegung der Aetherelemente den Druck der Sphären von Innen nach Außen verstärkt, fort, so werden die Centralmassentheilchen immer weiter von einander entfernt; ihre Sphären greifen nicht mehr in einander ein, hören aber darum nicht auf, mittelſt der zwischen ihnen gelegenen Aetherelemente gegen einander zu wirken. Und hierdurch ist im Wesentlichen der gasförmige Aggregatzustand der Materie charakterisirt.

Die Erscheinungen der Elektricität haften, wie die des Lichts und der Wärme, an der Materie; sie treten an derselben durch die verschiedenartigsten Ursachen hervor, können sich aber gleichfalls weiter in dem umgebenden Raum fortpflanzen und dadurch an und in anderen Körpern auf bestimmte Weise wiederholen. Auch diese Erscheinungen werden höchst wahrscheinlich durch bestimmte Gleichgewichts- und Bewegungsverhältnisse der Aetherelemente bewirkt, wobei jedoch noch sehr fraglich ist, ob alle Erscheinungen des Lichts, der Wärme und Elektricität durch eine und dieselbe Aetherart bedingt sind. Was dagegen den Magnetismus anlangt, so weiß man, daß derselbe sein Wesen hat in einer Polarität, d. h. in einem gewissen Gegensatze, dessen ungleichartige Glieder schon in jedem kleinsten Massentheilchen der betreffenden Körper als vorhanden angenommen werden müssen. Da nun nach unseren Principien die kleinsten Theilchen der Materie aus ungleichartigen Elementen constituirt sind, so ist es uns wahrscheinlich, daß der Magnetismus wesentlich in der Constitution der Materie begründet ist, so jedoch, daß eine besondere Anordnung der Grundelemente erforderlich ist, wenn derselbe wirklich hervortreten soll. Mit diesen Erörterungen müssen wir uns hier begnügen, indem wir auf die Artikel verweisen, in welchen die genannten Erscheinungen Gegenstand einer specielleren Betrachtung sind.

Die Grundelemente, aus welchen die sichtbare Natur constituirt ist, werden also vermittelst ihrer Aetherſphären in bestimmten Abständen von einander gehalten, ohne daß das eine Element unmittelbar auf das andere wirkt. Aus der oben angestellten Untersuchung läßt sich aber erkennen, daß die Materie, vermöge der Anordnung oder Gruppirung der sie constituirenden einfachen Elemente, überall, sowohl in ihren näheren als auch in ihren entfernteren Bestandtheilen bis zu den kleinsten Massentheilchen herab, eine bestimmte Gliederung besitzen muß, die wohl mannichfach modificirt, aber niemals ganz aufgehoben werden kann.

Eine unmittelbare Wirkung in die Ferne (durch den leeren Raum) findet nach unseren Principien weder zwischen den einfachen Elementen, noch zwischen den aus diesen bestehenden Molecülen, noch endlich zwischen größeren Massen statt, welche aus solchen Molecülen zusammengesetzt sind. Auch deutet die Erfahrung nur in einzelnen Fällen scheinbar auf eine derartige Wirkung hin. Die chemischen Processe erfordern durchweg eine innige Berührung der Körpertheilchen, und von den meisten physikalischen und mechanischen Processen gilt dasselbe. Eben so ist es bei der Wechselwirkung zwischen den Körpern und unseren verschiedenen Sinnesorganen, durch welche wir die sinnlichen Eigenschaften der Körperwelt kennen lernen. Das Tastorgan, welches uns die Materie als etwas Raumerfüllendes zu erkennen

giebt, muß mit derſelben in Berührung kommen, und auch das Geſchmacks- und Geruchsorgan reagiren nur gegen Körpertheilchen, mit denen ſie in wirkliche Berührung treten. Die Erſcheinungen des Schalles haben aber bekanntlich ihre Urſache in einer ſchwingenden Bewegung der Körpertheilchen, welche auf die Theilchen der umgebenden Luft ſich überträgt und hierdurch zu unſerem Gehörorgane gelangt, das gleichfalls mit der Luft in Berührung ſteht. Sollten nun die Körper dem Auge unmittelbar ihre Geſtalten aufdringen? Oder werden nicht vielmehr die Empfindungen deſſelben ebenfalls durch irgend Etwas vermittelt, das zwiſchen dem Sehorgane und dem ſichtbaren Körper vorhanden iſt? Wir können dieſe Frage nur bejahen; denn alle Erſcheinungen des Lichts laſſen ſich, wie man weiß, mit Evidenz aus der ſchwingenden Bewegung gewiſſer Aetherelemente erklären, durch eine Bewegung, die von der Materie aus angeregt wird, ſo daß zwiſchen dieſen Erſcheinungen und denen des Schalles eine gewiſſe Analogie beſteht. Auch von den Wirkungen der Elektricität und des Magnetismus (ſ. d. Art.) können wir mit Grund behaupten, daß dieſelben durch eine gewiſſe Vermittelung von einem Körper auf den anderen übergehen. So bleibt nur noch ein Fall einer ſcheinbar unmittelbaren Wirkung in die Ferne übrig. Was ſollen wir nämlich halten von jenen Körpern im Himmelsraume, die, wie nicht geleugnet werden kann, nach einem gewiſſen Geſetze in weiten, aber beſtimmten Abſtänden bei einander gehalten werden, ſo daß ſich jeder Körper in einer geſetzmäßigen Bahn, die durch den Einfluß der übrigen (zu einem größeren Ganzen gehörigen) Körper bedingt iſt, bewegt? So beſteht unſer Sonnenſyſtem aus einer Menge von ſelbſtſtändigen Körpern, die alle in demſelben Sinne um die Sonne kreiſen, während gleichzeitig einige wieder die Centralkörper von anderen kleineren ſind. Dies Alles erklärt ſich, wenn man annimmt, daß zwei Körper ſich wechſelſeitig im directen Verhältniſſe der Maſſen und im umgekehrten des Quadrates ihrer Entfernung anziehen; und eben daraus erklärt ſich die freie, beſchleunigte Bewegung der Körper, wenn dieſe in einem gewiſſen Abſtande von der Erdoberfläche ſich ſelbſt überlaſſen werden. Während hier nur die Anziehung zwiſchen der Erde und dem fallenden Körper wirkt, welche den letzteren in Berührung mit dem erſteren bringt, findet bei den Körpern im Himmelsraume noch eine tangentiale Wirkung ſtatt, die im Verein mit der Anziehung und der hierdurch bewirkten Bewegung nach dem Centralkörper hin eine kreiſende Bewegung in geſchloſſener Bahn hervorbringt. Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß die Himmelskörper nach einem beſtimmten Geſetze in beſtimmten Entfernungen bei einander gehalten werden, während ſie ihre Bahnen im Weltenraume vollführen, aber die Erfahrung ſagt uns gewiß nicht, daß dies die Folge eines unmittelbaren wechſelſeitigen Einfluſſes der betreffenden Körper ſei, obſchon man ſich allerdings denken kann, daß die Bewegungserſcheinungen derſelben ſo vor ſich gehen, als ob ſie durch eine gegenſeitige Anziehung bewirkt würden, welche im directen Verhältniſſe der Maſſen und im umgekehrten des Quadrats der Entfernung je zweier Körper oder Körpertheilchen ſteht. Indeſſen kann man dieſem Geſetze einen mehr thatſächlichen Charakter verleihen, wenn man ſagt: Zwei Körper (oder Körpertheilchen) im Raume haben die Tendenz, ſich zu einander hinzubewegen, dergeſtalt, daß dieſelbe, in der eben ausgeſprochenen Weiſe, von ihren Maſſen und ihrer Entfernung abhängig iſt. Die Frage nach der Urſache dieſer Tendenz (oder auch der Gravitation) kann man dann einſtweilen dahingeſtellt ſein laſſen. Wollten wir jedoch eine unmittelbare Anziehung

zwiſchen dieſen Körpern (durch den leeren Raum) annehmen, ſo möchte eine ſolche Hypotheſe wohl ſehr wenig geeignet ſein, unſere Einſicht in den wahren Zuſammenhang der betreffenden Erſcheinungen zu fördern. Wie wenig aber Newton ſelbſt, der jenes Gravitationsgeſetz auffand, einer derartigen Annahme geneigt war, ergiebt ſich aus folgender Stelle *), die in ſeinem dritten Briefe an Bentley vorkommt: „daß der Materie die Schwerkraft angeboren, inhärirend und weſentlich ſei, ſo daß ein Körper auf einen anderen in der Ferne durch ein Vacuum wirken könnte, ohne Vermittelung von Etwas, womit und wodurch die Wirkung und die Kraft von dem einen zum anderen fortgeführt würde, iſt für mich eine ſo große Ungereimtheit, daß ich glaube, Keiner, der in philoſophiſchen Dingen eine competente Fähigkeit des Denkens beſitzt, könne jemals in dieſelbe verfallen. Gravitation muß durch ein beſtändig nach gewiſſen Geſetzen wirkendes Agens erzeugt werden.“ Ob aber dieſes Agens als materiell oder immateriell, und wie es als wirkſam zu denken ſei, überläßt Newton einer ferneren Unterſuchung.

Unſere Principien führen nun, conſequent verfolgt, gewiſſermaßen von ſelbſt dahin, daß der Aether nicht allein die einfachen Grundelemente der Materie und die aus ihnen conſtituirten Maſſentheilchen zuſammenhalte, ſondern auch zwiſchen den größeren aus ſolchen Maſſentheilchen beſtehenden Körpern eine gewiſſe Gemeinſchaft unterhalten müſſe. Wie der Aether ſich um jedes Grundelement und Maſſentheilchen der Materie gruppirt, ſo wird derſelbe auch um jeden größeren Körper eine Sphäre bilden, die ſich abwechſelnd ausdehnt und zuſammenzieht, indem ihre Elemente abwechſelnd zu dem Körper hin- und von ihm hinweggehen. Die Verbreitung einer ſolchen Sphäre im Raume wird von der Maſſe und Größe des Körpers, welchem ſie zugehört, abhängen. Denken wir uns nun zwei Körper, etwa zwei Kugeln, in einer gewiſſen Entfernung von einander, ſo daß ihre Sphären in einander greifen können, ſo wird zwiſchen beiden Körpern eine Verzögerung der oscillirenden Bewegung des Aethers ſtattfinden; dadurch gewinnt der äußere Druck der Aetherſphären das Uebergewicht, zufolge deſſen ſich dieſe Körper zu einander hin bewegen müſſen, ſo, als ob ſie ſich gegenſeitig anzögen. Iſt aber der eine Körper im Verhältniß zum anderen ſehr klein und in die Aetherſphäre des letzteren eingetaucht, ſo wird derſelbe bei jeder Contraction dieſer Sphäre einen Antrieb zur Bewegung nach dem größeren Körper hin erlangen. Jede einzelne Wirkung dieſer Art wird zwar nicht ſo energiſch ſein, als wenn zwei ungleichartige Elemente oder Maſſentheilchen mit ihren Sphären gegenſeitig in einander greifen, aber es findet hier eine Summation der Wirkungen ſtatt, aus der eine beträchtliche Geſammtwirkung reſultiren kann. In dem Moment alſo, wo die Sphäre des größeren Körpers ſich zuſammenzieht, wird auf den kleineren ein Druck ausgeübt, der ihn nach jenem hintreibt, ſo als ob hier eine Anziehung, die Gravation, ihren Sitz hätte. Dieſe Bewegung, welche ſich fortſetzt, während die Sphäre ſich ausdehnt und verdünnt, wird durch jede folgende Contraction des Aethers verſtärkt. Alle Maſſentheilchen des bewegten Körpers erfahren von Seiten des ſich zuſammenziehenden Aethers denſelben Druck, und wenn dieſer Körper im Verhältniß zum anderen von ſehr geringer Ausdehnung iſt, ſo werden alle ſeine Maſſentheilchen von gleichen, parallelen Druckkräften getrieben. Hiervon können wir nun ſogleich eine Anwendung machen auf die nähere Beſtimmung der

*) Newton's Works, Horsley's Edit. 4°, 1783. Vol. IV. p. 438.

Wirkung, welche irgend ein Weltkörper auf andere kleinere Körper ausübt, die ſich innerhalb ſeiner Aetherſphäre befinden, z. B. auf die Wirkung der Erde gegen irgend einen Körper, wenn derſelbe in einer gewiſſen Entfernung von ihrer Oberfläche ſich ſelbſt überlaſſen wird.

Jede Contraction des ſchwingenden Aethers, der um die Erde in der Form einer Sphäre gruppirt iſt, ertheilt einem ſolchen Körper eine gewiſſe Geſchwindigkeit, die durch jede folgende Contraction vermehrt wird. Dieſe Einwirkung wiederhole ſich allemal nach Verlauf des m^{ten} Theiles einer Secunde, die als Zeiteinheit angeſehen werde. Der Körper wird dann, während dieſer Zeiteinheit, eine Anzahl m jener Einwirkungen erfahren, die zuſammen ihm eine beſtimmte Geſchwindigkeit $= g$ ertheilen werden. Die Geſchwindigkeit, welche durch eine einzige Contraction des oscillirenden Aethers bewirkt wird, iſt demnach $\frac{g}{m} = p$, und der Weg, welchen der Körper mit derſelben in dem Zeittheilchen $\frac{1}{m} = \tau$ durchfällt, $= \frac{g}{m^2} = p\tau$. Mit Rückſicht auf die nach einander folgenden Zeittheilchen $0, \tau, 2\tau, 3\tau, \ldots . n\tau$ hat man nun für die von den Einwirkungen des Aethers herrührenden Geſchwindigkeiten, am Anfange eines jeden ſolchen Zeittheilchens, der Reihe nach $p, 2p, 3p, \ldots . np$, und für die während dieſer Zeittheilchen durchlaufenen Wege $p\tau, 2p\tau, 3p\tau, \ldots . np\tau$. Die Summe aller dieſer Wege iſt $s = p\tau (1 + 2 + 3 + \ldots . + n) = p\tau (1 + n) \frac{n}{2}$ oder, wenn man für p und τ ihre obigen Werthe ſetzt, $= \frac{g}{2} \left(\frac{n}{m^2} + \frac{n^2}{m^2}\right)$.

Bezeichnet man nun die beliebige Anzahl von Zeittheilchen, deren jedes $= \frac{1}{m}$ iſt, nämlich $\frac{n}{m}$, mit t, ſo hat man $n = mt$ und daher auch $s = \frac{g}{2} \left(\frac{mt}{m^2} + \frac{m^2 t^2}{m^2}\right) = \frac{gt^2}{2} + \frac{gt}{2m}$.

Das zweite Glied dieſer Formel wird aber um ſo kleiner, je größer m, d. h. je ſchneller die Contractionen des ſchwingenden Aethers auf einander folgen, oder in je kürzerer Zeit die Aetherſchwingungen vollendet werden. Nimmt man nun an, daß die Schwingungszeit außerordentlich klein iſt, oder daß die Schwingungen ungemein raſch auf einander folgen, ſo kann man $n = \infty$ ſetzen, zufolge deſſen das zweite Glied jener Formel verſchwindet. Daher $s = {}^1/_2\, g t^2$.

Setzt man aber in dem Ausdrucke $np = \frac{ng}{m}$ der durch n Aethercontractionen bewirkten Geſchwindigkeit: $n = mt$, ſo erſcheint $c = gt$ für die Geſchwindigkeit, welche der Körper während der Zeit t erlangt hat, wo g immer, ſeinem obigen Begriffe gemäß, die in der Zeiteinheit erzeugte Geſchwindigkeit iſt.

Die Formeln $c = gt$ und $s = \frac{1}{2} g t^2$ drücken nun bekanntlich die Bewegungsgesetze der frei nach der Erde hin fallenden Körper aus. Das Resultat jener Aetherschwingungen ist also dasselbe, als ob die Bewegung dieser Körper von einer continuirlich wirkenden Kraft herrührte. Man betrachtet die Schwere als eine solche Kraft, nimmt jedoch häufig, um die betreffenden Gesetze abzuleiten, an, daß dieselbe stoßweise wirke. Dadurch zerlegt man die gleichförmig beschleunigte Bewegung, der eben dargelegten Entwickelung gemäß, in eine Folge von gleichförmigen Bewegungen, die zusammen sich jener um so mehr nähern, je schneller die stoßweisen Wirkungen auf einander folgen. Es kann aber keinem Zweifel unterliegen, daß die Aethercontractionen eine gleichförmig beschleunigte Bewegung der fallenden Körper bewirken werden, sobald nur die Schwingungszeit des Aethers so klein ist, daß das zweite Glied in der obigen Formel für s in Bezug auf das erste vernachlässigt werden kann. Auch kann man bei der Betrachtung des freien Falles der Körper von verhältnißmäßig geringen Höhen annehmen, daß die auf einander folgenden Contractionen des schwingenden Aethers gleich sind. Sonst muß aber die Wirkung mit der Entfernung von der Erde abnehmen; denn je weiter die Aetherschichten von der Oberfläche der Erde entfernt liegen, desto geringer ist ihr Zusammenhang mit der letzteren, und von diesem Umstande hängt die Intensität der Wirkung ab. Da nun die Oberflächen verschiedener Kugelschichten sich verhalten wie die Quadrate ihrer Halbmesser, so wird die Wirkung mit dem Quadrate der Entfernung abnehmen.

Wie die Körper über der Oberfläche der Erde sich zu dieser, so werden sich die verschiedenen Planeten in der Aethersphäre der Sonne, ihres Centralkörpers, verhalten, so weit es ihr Bestreben betrifft, sich nach dem letzteren hinzubewegen. Viele Weltkörper zusammen genommen können aber den Aether zu einem solchen Systeme von Schwingungen veranlassen, als ob dasselbe von ihrem gemeinschaftlichen Schwerpunkte ausginge. Die Contraction oder Rückwirkung des schwingenden Aethers wird sie dann alle gegen ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt hintreiben, so als ob in diesem die Gravitation ihren Sitz hätte.

Der große Reichthum von Erscheinungen, welchen die gegebene Natur darbietet, läßt sich durch eine vergleichende Betrachtung in verschiedenartige Gruppen sondern, deren jede, in Hinsicht auf ihr Ursächliches, Gegenstand einer Specialuntersuchung werden kann. Die Körper aber, an welchen die mannichfachen Naturerscheinungen zu Tage treten, sind bis zu gewissen Grenzen chemisch und mechanisch theilbar. Die chemische Theilbarkeit führt jeden zusammengesetzten Körper zurück auf eine Mannichfaltigkeit einfacherer Bestandtheile, die in einem gewissen Gegensatze zu einander stehen. Die mechanische Theilbarkeit liefert dagegen Theilchen, die dem Ganzen, aus dem sie hervorgehen, gleichartig erscheinen. Von den kleineren Theilchen gelangt man im Denken, gestützt auf die Analysis des Gegebenen, zu kleinsten Massentheilchen, die noch die Natur des größeren materiellen Ganzen, das sie zusammen bilden, an sich haben. Die kleinsten Massentheilchen eines jeden Körpers sind endlich Combinationen jener absolut einfachen Atome, aus deren Kraftverhältnissen sie (die Massentheilchen) resultiren. Es liegt nun im Begriff dieser Atome, daß sie auf eine Mannichfaltigkeit noch einfacherer Bestandtheile nicht zurückgeführt werden können. Mit der Annahme derselben sind

wir zu einer nothwendigen Grenzvorstellung gelangt, die wir, so lange man im Bereiche der uns gegebenen Natur verweilt, nicht zu überschreiten brauchen. Doch liegt die Möglichkeit vor, daß selbst die einfachen Atome noch durch etwas Anderes, von ihnen völlig Verschiedenes, bestehen, das aber für sie alle dasselbe sein muß, und von dem sie alle auf gleiche Weise abhängen werden. Die Art und Weise indeß, wie die vielen einfachen Wesen (Atome) von dem Einen abhängen, vermögen wir hier, auf dem Standpunkte der Physik, nicht näher zu bestimmen. Wir stehen vor der Pforte des religiösen Glaubens und schließen, indem wir die Möglichkeit dieser Abhängigkeit anerkennen, mit dem Spruche des Apostel Paulus: „Es sind mancherlei Kräfte, aber es ist Ein Gott, der da wirket alles in allen."

Maximum- und Minimumthermometer, s. Thermometer.

Mechanik ist die Wissenschaft von den Bewegungsgesetzen materieller Körper. Insofern nun diese Wissenschaft es mit Körpern und mit auf die Materie wirkenden Ursachen — Kräften — zu thun hat, gehört sie zu den physikalischen Wissenschaften, insofern aber die Bewegungserscheinungen räumlich und alle Elemente derselben zugleich meßbar sind, gehört die Mechanik auch zu den mathematischen Wissenschaften, und läßt nicht nur eine streng mathematische Behandlung zu, sondern verlangt dieselbe nothwendig. So wie die Mathematik, ausgehend von den Begriffen des Raumes und der Zahl, sich als selbstständige, abstracte Wissenschaft erbaut, so läßt sich auch eine eben so selbstständige, abstracte Wissenschaft der Mechanik denken; denn wenn zu jenen mathematischen Grundbegriffen des Raumes und der Zahl noch die empirischen Grundbegriffe der Zeit, der Materie und der Kraft hinzugenommen werden, so läßt sich durch bloße Thätigkeit des Verstandes, durch Combination jener Grundbegriffe und ihrer Grundbeziehungen zu einander eine selbstständige Wissenschaft der Bewegungsgesetze entwickeln, die unter dem Namen der reinen oder analytischen Mechanik bekannt ist; ihr gegenüber steht die angewandte Mechanik, welche die Anwendung der mechanischen Gesetze zur Benutzung der besonderen Naturkräfte lehrt und in der Lehre von den Bauconstructionen und in der Maschinenlehre ihre Hauptzweige besitzt.

Die mechanische Bewegung ist eine zeitliche (in der Zeit vor sich gehende) Ortsveränderung eines räumlichen Gegenstandes, deren wissenschaftliche Auffassung auf dem Begriffe des Weges und der darin liegenden Richtung und auf dem Begriff der Geschwindigkeit als des Verhältnisses von Weg und Zeit zu einander beruht. Hieraus gehen dann die weiteren Begriffe von Beschleunigung und Verzögerung hervor, so wie die bekannte Eintheilung der verschiedenen Bewegungsarten. (Siehe d. Art. Bewegung Bd. I. S. 806 ff.)

Die Materie, als das den Raum Füllende, ist in bestimmter Begrenzung die Masse eines Körpers und führt, wenn das Verhältniß des Massenquantums zum Raumquantum eines Körpers gedacht wird, zum Begriff der Dichte. Die Materie, als solche, hat die Ursache ihrer Bewegung nicht in sich, sondern außer sich, und diese außer der Materie vorhandene (aber vielleicht einem anderen Körper zugehörige) Bewegungsursache — mechanische Kraft — ist ohne weitere Rücksicht auf ihre besondere Beschaffenheit charakterisirt: 1) durch einen bestimmten Angriffspunkt, 2) durch eine bestimmte Richtung und 3) durch eine gewisse Intensität, nach welcher die einzelnen Kräfte meßbar, d. h. unter sich vergleichbar sind.

Die Körper, auf welche die bewegenden Kräfte einwirken, ſind entweder frei, d. h. ihre Bewegung iſt auf dem von dieſen Kräften vorgeſchriebenen Wege möglich, oder unfrei, d. h. die betreffende Bewegung iſt gehindert; die Wirkung der bewegenden Kraft bei jenen iſt natürlich die Bewegung, bei dieſen aber ein Druck oder Zug. Druck und Bewegung aber als eventuelle Wirkungen derſelben Kraft müſſen auch in Vergleich zu einander geſetzt werden können. Der Druck (ſ. d. Art.) iſt vorzüglich geeignet, die verſchiedenen Kräfte unter einander zu vergleichen, und da das Gewicht nichts weiter iſt, als ein Druck, den die verbreitetſte mechaniſche Kraft, die Schwerkraft, in Körpern, welche auf einer feſten Unterlage liegen, hervorbringt, ſo iſt die Gewichtseinheit, das Pfund, auch beſonders geeignet, als allgemeines Maß aller bewegenden Kräfte zu dienen. Nun aber bringt dieſelbe Kraft, deren Intenſität alſo durch eine gewiſſe Anzahl Pfunde ausgedrückt werden kann, in anderen Verhältniſſen eine Bewegung hervor; wird aber dieſe Bewegung als Wirkung jener Kraft aufgefaßt, ſo kommt bei ihr in Betracht: 1) die Maſſe des bewegten Körpers, 2) die Geſchwindigkeit deſſelben und 3) die zur Erzeugung der Bewegung nöthige Zeit. Da nun in der Geſchwindigkeit, welche eine Kraft in der Maſſeneinheit während der Zeiteinheit erzeugt, ein einfacher Ausdruck der Kraftwirkung erſcheint, ſo folgt daraus leicht, daß zwei Kräfte ſich verhalten wie die bewegten Maſſen und wie die in gleichen Zeiten erzeugten Geſchwindigkeiten.

Jede Bewegung erſcheint für ſich immer nur als eine einzelne, die Urſachen der Bewegung, die Kräfte, können aber mehrfach gedacht werden. Es fragt ſich alſo, welche Bewegungen bringen mehrere Kräfte zuſammen hervor. Jeder einzelnen Kraft entſpricht eine beſondere Bewegung, die ſie hervorbringen würde, wenn ſie allein auf den Körper wirkte; inſofern alſo mehrere Kräfte zugleich auf dieſen Körper wirken, werden mehrere Bewegungen auf dieſen Körper übertragen, und daraus entſteht immer nur eine einzelne Bewegung. Von welcher Art das Reſultat dieſer Uebertragung iſt, läßt ſich an einem einfachen Vorgange einſehen. Geht z. B. Jemand auf dem Verdeck eines ſich bewegenden Schiffes, ſo beſitzt er zu gleicher Zeit zwei Bewegungen, ſeine eigene, in Folge ſeines Gehens, und die Bewegung des Schiffes; das Reſultat dieſer Verknüpfung zweier Bewegungen iſt, daß die wirklich in einer beſtimmten Zeit eintretende Ortsveränderung eben dieſelbe iſt, welche eintreten würde, wenn beide beſondere Bewegungen getrennt und hinter einander vor ſich gehend gedacht werden. Was von zwei Kräften gilt, das gilt auch von mehreren Kräften, und man kann ſtets die durch die gleichzeitige Wirkung mehrerer Kräfte auf einen Körper in beſtimmter Zeit hervorgebrachte Ortsveränderung finden, wenn man die den einzelnen Kräften entſprechenden Ortsveränderungen unter Beibehaltung ihrer Größe und Richtung hinter einander erfolgend ſich vorſtellt *). Die hierbei in der Vorſtellung entſtehende gebrochene Linie kann nun in gewiſſen Fällen von der Art ſein, daß ihr Endpunkt in ihren Anfangspunkt zurückführt, in welchem Falle dann durch die gemeinſame Wirkung aller einzelnen Kräfte gar keine Ortsveränderung, d. i. gar keine Bewegung hervorgebracht wird. Der Zuſtand dieſes gegenſeitigen Verhältniſſes mehrerer Kräfte unter einander, bei welchem ſie zuſammen keine Bewegung hervorbringen, während doch jede einzelne von ihnen allein eine Bewegung hervorbringen würde, heißt

*) Vergl. hierzu Art. Bewegung. Bd. I. S. 816 ff.

Gleichgewicht. Hieraus folgt nun, daß das Gleichgewicht ſtets nur die Wirkung mehrerer — mindeſtens zweier Kräfte iſt, und daß zwei Kräfte nur dann Gleichgewicht hervorbringen können, wenn ſie gleichgroß und in ihrer Richtung einander genau entgegengeſetzt ſind.

Strebt ein Körper ſich in einen Raum zu bewegen, in welchem ſich ſchon ein anderer befindet, oder in welchen gleichzeitig ein anderer eintritt, ſo iſt die Bewegung, wegen der Undurchdringlichkeit der Materien, nicht ſo möglich, wie ſie eintreten würde, wenn jener zweite Körper nicht vorhanden wäre. In der Anweſenheit dieſes zweiten Körpers liegt alſo eine Urſache zur Abänderung der urſprünglichen Bewegung des erſten Körpers, d. h. alſo eine Kraft, die als Kraft des Widerſtandes bezeichnet wird. Wie nun dieſe Widerſtandskraft wirkt, das lehrt die Betrachtung des einfachſten Falls. Liegt ein ſchwerer Körper auf einer (undurchdringlichen) horizontalen Ebene, ſo kann die auf ihn wirkende Schwere keine Bewegung hervorbringen, weil alle auf der Ebene denkbaren Bewegungsrichtungen genau dieſelbe Beziehung zur bewegenden Kraft haben, und wenn nun der Körper nicht allen dieſen Richtungen zugleich folgen kann, ſo kann er keiner folgen, er muß in Ruhe bleiben. Dieſe Ruhe iſt nun als das Gleichgewicht der bewegenden Schwerkraft und der Widerſtandskraft der ebenen Unterlage zu denken; dieſer Widerſtand muß deshalb eben ſo groß ſein, als jener Druck, und ihre Richtung muß genau der Schwerrichtung entgegengeſetzt ſein, alſo ebenfalls auf der Ebene ſenkrecht ſtehen. Drückte daher der Körper in Folge der verhinderten Bewegung auf die Ebene, ſo drückt die Ebene wieder zurück auf den Körper, beide Kräfte, Druck und Gegendruck, ſind gleich groß und ihre Richtungen fallen in eine Linie, welche zur Ebene ſenkrecht ſteht. Dieſes Verhältniß wiederholt ſich nun in allen den Erſcheinungen, in denen Körper während der Bewegung auf einander wirken; in dem Berührungspunkte der beiden auf einander wirkenden Körper iſt eine Doppelkraft zu denken, welche mit gleicher Stärke auf den einen und den anderen Körper wirkt und zwar in einer Richtung, die auf der Berührungsebene beider Körper ſenkrecht ſteht.

Ueberblicken wir noch einmal dieſe gedrängte Darſtellung der Grundverhältniſſe der Mechanik, ſo haben ſich uns drei einfache Grundgedanken ergeben, welche die Grundlage der wiſſenſchaftlichen Mechanik materieller Körper bilden.

Nämlich:

1) Die bewegenden Kräfte wirken in der Zeit und verhalten ſich wie die Maſſen der bewegten Körper und wie die in gleichen Zeiten hervorgebrachten Geſchwindigkeiten.
2) Zwei Bewegungen werden in einem Körper ſo vereinigt, daß die in gewiſſer Zeit hervorgebrachte Ortsveränderung gleich der Ortsveränderung iſt, welche eintreten würde, wenn die einzelnen Bewegungen hinter einander ſtattfänden.
3) Wirken Körper in Bewegung auf einander, ſo ſind Druck und Gegendruck gleich und die in eine gerade Linie fallende Richtung beider ſteht ſenkrecht auf der gemeinſchaftlichen Berührungsebene.

Aus dem zweiten Axiome leitet ſich der Begriff des Gleichgewichts ab und auf dieſen ſtützt ſich die Eintheilung der Mechanik in Statik und Dynamik. Statik iſt die Wiſſenſchaft vom Gleichgewicht der Kräfte, alſo von dem Verhältniß der Kräfte zu einander, in welchem ſie keine Bewegung hervorbringen, und Dynamik

iſt die Wiſſenſchaft von der Bewegung. Für die weitere Eintheilung dieſer beiden Wiſſenſchaften bietet die Aggregationsform der von den Kräften angegriffenen Körper den Eintheilungsgrund dar. Je nachdem dieſe Körper ſtarr, tropfbar oder luftförmig ſind, theilt ſich die Statik ein in: 1) Geoſtatik oder Lehre vom Gleichgewicht ſtarrer Körper, 2) Hydroſtatik oder Lehre vom Gleichgewichte tropfbarer Körper und 3) Aeroſtatik oder Lehre vom Gleichgewichte luftförmiger Körper; und nach derſelben Rückſicht theilt ſich die Dynamik ein in 1) Geodynamik oder Lehre von der Bewegung ſtarrer Körper, 2) Hydrodynamik oder Lehre von der Bewegung tropfbarer Körper, und 3) Aerodynamik oder Pneumatik, d. i. Lehre von der Bewegung luftförmiger Körper. — Erwähnt werde hier nur noch, daß man für Dynamik auch zuweilen die Bezeichnung „Mechanik im engeren Sinne" gebraucht und daß man, ſo wie man die tropfbaren und luftförmigen Körper auch unter der Bezeichnung der flüſſigen zuſammenfaſſen kann, die Ausdrücke Hydroſtatik und Hydrodynamik zuweilen in einem ſo erweiterten Sinne gebraucht findet, daß jener die Aeroſtatik, dieſer die Aerodynamik mit in ſich begreift. Selbſtverſtändlich iſt auch, daß unter Geomechanik die Geoſtatik und die Geodynamik zuſammen verſtanden wird, und daß die Ausdrücke Hydromechanik und Aeromechanik beziehungsweiſe ähnliche Bedeutungen haben.

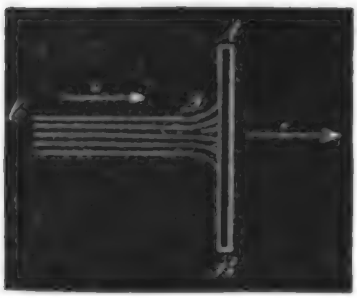
Die Geomechanik geht von der Vorausſetzung aus, daß die ſtarren Körper einen aufgenommenen Druck vorzugsweiſe nach der Richtung deſſelben fortpflanzen, und daß ihre Theile einen beſtimmten Widerſtand ihrer Trennung entgegenſetzen. Die Hydromechanik macht dagegen die Vorausſetzung, daß die tropfbaren Körper einen aufgenommenen Druck nach allen Seiten gleichmäßig fortpflanzen und daß ihre Theile keinen ſehr merklichen Widerſtand ihrer Trennung entgegenſetzen. Die Aeromechanik ſetzt gleichfalls die allſeitige gleichmäßige Fortpflanzung eines aufgenommenen Drucks bei den luftförmigen Körpern voraus, ſo wie daß die letzteren ein ihrer Dichte proportionales Beſtreben nach Ausdehnung beſitzen. Nach dieſen einzelnen Vorausſetzungen geſtalten ſich nun die beſonderen Lehren dieſer einzelnen Zweigwiſſenſchaften. W. S.

Mechanik der Flüſſigkeiten. Die Mechanik der Flüſſigkeiten im engeren Sinne oder die Hydrodynamik und Aerodynamik zerfällt 1) in die Lehre von Ausfluß der Flüſſigkeiten aus Wandöffnungen in Gefäßen, 2) in die Lehre von der Bewegung der Flüſſigkeiten in Röhren und Canälen und 3) in die Lehre vom Stoß und vom Widerſtande der Flüſſigkeiten.

Ueber den Ausfluß der Flüſſigkeiten ſehe man den Artikel „Ausfluß" nach; die Bewegung der Flüſſigkeiten in Röhren wird im Artikel „Röhrenleitungen" behandelt werden, obgleich hierhergehörende Reſultate ſchon im angeführten Artikel „Ausfluß" angegeben ſind, und über die Bewegung des Waſſers in Canälen und Strömen ſiehe den Artikel „Bewegung des Waſſers" Bd. I. S. 847. An dieſer Stelle ſoll nur abgehandelt werden die Lehre vom Stoß und vom Widerſtande der Flüſſigkeiten, und wir wollen unterſcheiden A. den Stoß der Flüſſigkeiten, B. den Widerſtand der Flüſſigkeiten und C. den Rückſtoß oder die Reaction der Flüſſigkeiten. Die Betrachtung wird ſowohl die tropfbaren Flüſſigkeiten als auch die luftförmigen umfaſſen.

A. Stoß der Flüſſigkeiten. Hier iſt zu unterſcheiden: 1) Stoß eines iſolirten Waſſerſtrahls gegen eine gegebene Fläche, 2) Stoß des Waſſers im Gerinne, 3) Stoß im unbegrenzten Waſſer und 4) Stoß der bewegten Luft.

1) Stoß eines iſolirten Waſſerſtrahls. Je nachdem die getroffene Fläche eben oder gekrümmt, ruhig oder bewegt iſt, je nachdem die Richtung des Stoßes ſenkrecht oder geneigt gegen die getroffene Fläche iſt, wird der Stoß verſchieden ausfallen. Der einfachſte, aber auch wichtigſte Fall iſt, wenn eine ebene Fläche ſenkrecht von einem Waſſerſtrahl getroffen wird.



Der Waſſerſtrahl CD treffe die ebene Tafel AB ſenkrecht (ſ. nebenſtehende Figur), der Querſchnitt von CD ſei F, die Geſchwindigkeit des Waſſers ſei v, die Tafel bewege ſich in gleicher Richtung mit der Geſchwindigkeit c. Die Wirkung des Stoßes gegen die Tafel iſt ein Druck P, der zu beſtimmen iſt. Das Gewicht der Volumeneinheit Waſſer ſei mit γ bezeichnet.

In der Zeiteinheit kommt ein Waſſercylinder von der Länge $v - c$ zum Stoß, das Gewicht deſſelben iſt $F\gamma(v-c)$, das in ihm vorhandene Arbeitsquantum (lebendige Kraft) iſt $F\gamma(v-c)\frac{v^2}{2g}$. Da das Waſſer, ſo wie es zum Stoß gelangt, ſeine Geſchwindigkeit von v auf c herabſetzen muß, alſo einen Geſchwindigkeitsverluſt von $v - c$ erleidet, ſo geht gleichzeitig ein Arbeitsquantum von $F\gamma(v-c).\frac{(v-c)^2}{2g}$ verloren.

Da ferner das Waſſer noch eine Geſchwindigkeit c behält, ſo bleibt ihm noch am Arbeitsvermögen $F\gamma(v-c).\frac{c^2}{2g}$, der Reſt, nämlich

$$F\gamma(v-c).\frac{v^2}{2g} - F\gamma(v-c)\frac{(v-c)^2}{2g} - F\gamma(v-c)\frac{c^2}{2g} = \frac{2F\gamma(v-c)^2c}{2g}$$

iſt an die geſtoßene Tafel übergegangen. Da die Tafel einen Druck P erleidet, dabei aber eine Geſchwindigkeit c beſitzt, ſo iſt die von ihr aufgenommene Arbeit auch durch Pc zu bezeichnen; es iſt alſo:

$$Pc = \frac{F\gamma(v-c)^2c}{g}, \text{ und } P = \frac{F\gamma(v-c)^2}{g}.$$

Setzt man die in der Zeiteinheit zum Stoß gekommene Waſſermaſſe $F\gamma(v-c)$ gleich Q, ſo hat man:

$$Pc = \frac{Q(v-c)c}{g}, \text{ und } P = \frac{Q(v-c)}{g}.$$

Ruht die Tafel, ſo iſt $c = o$, dann iſt zwar die von der Tafel aufgenommene Arbeit Pc auch gleich null, aber für den Druck gegen die Tafel erhalten wir:

$$P = \frac{F\gamma v^2}{g} = \frac{Qv}{g}.$$

Die zur Geſchwindigkeit v gehörige Geſchwindigkeitshöhe h iſt bekanntlich $\frac{v^2}{2g}$, demnach iſt $P = 2Fh\gamma$.

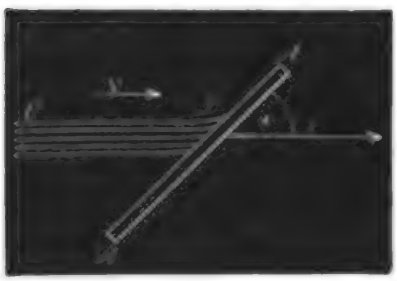
Digitized by Google

Der durch den ſenkrechten Stoß eines Waſſerſtrahls gegen eine ruhende Ebene hervorgebrachte Druck iſt alſo gleich dem Gewicht einer Waſſerſäule, die den Querſchnitt des Waſſerſtrahls zur Grundfläche und die **doppelte** Geſchwindigkeitshöhe zur Höhe hat.

Bewegt ſich die Tafel dem Waſſerſtrahl mit der Geſchwindigkeit c entgegen, ſo iſt der aufgenommene Druck $P = \frac{F\gamma(v+c)^2}{g} = \frac{Q(v+c)}{g}$. Eine Arbeit kann in dieſem Falle von der Tafel nicht aufgenommen werden, vielmehr muß noch eine andere Arbeit $\frac{Q(v+c)c}{g}$ verwendet werden, um die Tafel dem Strahl entgegen führen zu können.

Es laſſen ſich die obigen wichtigen Formeln auch ableiten, ohne den Begriff der Arbeit zu Hülfe zu nehmen. Man erinnere ſich an den wichtigen Satz, daß wenn eine Kraft P auf eine Gewichtsmenge G wirkt, eine Beſchleunigung oder Verzögerung $g' = \frac{P}{G} g$ erreicht wird, wo unter g die allgemeine Beſchleunigung der Schwere zu verſtehen iſt. Denken wir uns nun von dem Waſſerſtrahl ein ſehr kleines Stück von der Länge dx, ſo iſt ſein Gewicht $F\gamma dx$; da es die relative Geſchwindigkeit $v - c$ hat, ſo kommt es während der ſehr kleinen Zeit $\frac{dx}{v-c}$ vollſtändig zum Stoß, in dieſer Zeit ſoll es aber einen Geſchwindigkeitsverluſt von $v - c$ erleiden, es muß ihm alſo eine Verzögerung von $(v-c) : \frac{dx}{v-c}$ oder $\frac{(v-c)^2}{dx}$ ertheilt werden, und dieſe Verzögerung läßt ſich anſehen als die Wirkung des von der Tafel ausgeübten Gegendrucks P. Setzen wir nun in obige Formel $g' = \frac{P}{G} g$ für g' die Verzögerung $\frac{(v-c)^2}{dx}$, für G das Gewicht unſeres kleinen Waſſercylinders, nämlich $F\gamma dx$, ſo folgt $P = \frac{F\gamma(v-c)^2}{g}$, genau ſo wie es oben gefunden worden iſt.

Bildet die in der Richtung des Waſſerſtrahls mit der Geſchwindigkeit c ausweichende Tafel AB (ſ. beiſtehende Figur) mit der Richtung ihrer Bewegung einen Winkel α, ſo läßt ſich der auf ihr hervorgebrachte Normaldruck P durch die letzte Betrachtung leicht finden. Die relative Geſchwindigkeit des Waſſers iſt $v - c$, die normal gegen die Tafel gerichtete Componente dieſer Geſchwindigkeit iſt $(v-c)\sin\alpha$; und dieſe relative Geſchwindigkeit ſoll durch den Einfluß des Gegendrucks P in dem kleinen Waſſercylinder $F\gamma dx$ vernichtet werden. Die dazu nöthige Zeit iſt wieder $\frac{dx}{v-c}$,

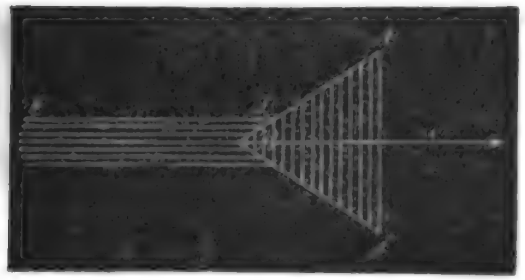


alſo die Verzögerung ebenfalls $\frac{(v-c)^2}{dx}$, woraus dann folgt $P = \frac{F\gamma(v-c)^2 \sin\alpha}{g}$.

Dieſer Normaldruck läßt ſich nun zerlegen in einen Druck P_1 nach der Richtung der Bewegung und in einen dazu ſenkrechten Seitendruck P_2, mit welchem der Waſſerſtoß die Tafel aus der Richtung ihrer Bewegung herausdrängen möchte; die ſehr einfache Zerlegung liefert: $P_1 = P \sin\alpha = \frac{F\gamma(v-c)^2}{g} \sin\alpha^2$ und $P_2 = P \cos\alpha = \frac{F\gamma(v-c)^2}{g} \sin\alpha \cos\alpha$; die von der Tafel aufgenommene Arbeit iſt $P_1 c = \frac{F\gamma(v-c)^2 c}{g} \sin\alpha^2$.

Denken wir uns einen Kegel A B A′ (ſ. Fig. I.), deſſen Axe mit der Seite den Winkel α bildet; richtet ſich nun gegen den Kegel ein Waſſerſtrahl in der Richtung der Kegelaxe, und weicht der Kegel mit einer Geſchwindigkeit c aus, ſo erhält er in der Axenrichtung einen Druck $P_1 = \frac{F\gamma(v-c)^2 \sin\alpha^2}{g}$, und die aufgenommene Arbeit beträgt $P_1 c = \frac{F\gamma(v-c)^2 c \cdot \sin\alpha^2}{g}$.

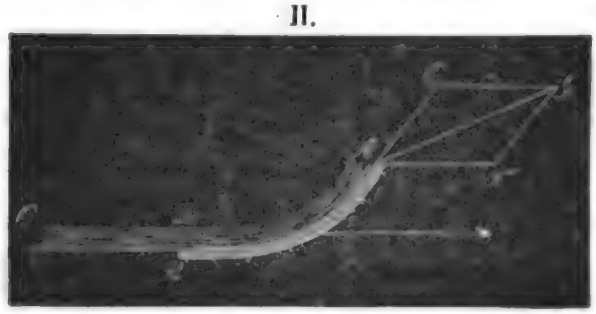
I.



Richtet ſich ein Waſſerſtrahl ſo gegen eine concave Fläche, daß er ſie in der Richtung einer Tangente trifft, ſo findet kein eigentlicher Stoß ſtatt, wohl aber eine Ablenkung des Waſſerſtrahls; aber bei dieſer Ablenkung wird ebenfalls ein Druck auf die Fläche ausgeübt, und es kann eine gewiſſe Arbeitsmenge aufgenommen werden.

Die gekrümmte Tafel A B (ſ. Fig. II.) empfange bei B in der Tangentenrichtung den Waſſerſtrahl C D, deſſen Querſchnitt wieder F, und deſſen Geſchwindigkeit wieder v ſei, die Fläche A B weiche mit der Geſchwindigkeit c aus. In der Zeiteinheit trifft die Waſſermenge $Q = F\gamma(v-c)$ die Tafel mit der relativen Geſchwindigkeit v − c. Sehen wir von dem geringen Einfluß ab, den die Adhäſion des Waſſers gegen die Tafelfläche auf die Bewegung des Waſſers ausüben wird, ſo bleibt die relative Geſchwindigkeit des Waſſers dieſelbe, nämlich v − c; das Waſſer verläßt daher die Tafel bei A auch mit dieſer relativen Geſchwindigkeit A E = (v − c) in der Tangentenrichtung, ſeine abſolute Geſchwindigkeit A G = v_1 ſetzt ſich aber zuſammen aus der Tangentialgeſchwindigkeit A E und aus

II.



der Geſchwindigkeit A F = c, welche die Tafel beſitzt. Bezeichnen wir den Winkel E A F, um welchen der Waſſerſtrahl abgelenkt iſt, mit α, ſo iſt

$$v_1 = AG = \sqrt{(v-c)^2 + c^2 + 2(v-c)\,c\cos\alpha}.$$

Das Waſſerquantum Q hatte bei B das Arbeitsvermögen $\frac{Qv^2}{2g}$, bei A hat es davon noch $\frac{Qv_1^2}{2g}$; das Fehlende hat es an die Tafel abgegeben. Setzen wir den Druck, den die Fläche A B in der Richtung ihrer Bewegung erleidet, gleich P, ſo iſt das von ihr aufgenommene Arbeitsquantum P c, demnach iſt nun:

$$Pc = \frac{Qv^2}{2g} - \frac{Qv_1^2}{2g} = \frac{Q}{2g}[v^2 - (v-c)^2 - c^2 - 2(v-c)\,c\cos\alpha] = \frac{Q(v-c)\,c\,(1-\cos\alpha)}{g},$$

und folglich $P = \frac{Q(v-c)(1-\cos\alpha)}{g} = \frac{F\gamma(v-c)^2(1-\cos\alpha)}{g}$.

Setzt man $\alpha = 90^0$, ſo iſt $Pc = \frac{Q(v-c)\,c}{g} = \frac{F\gamma(v-c)^2\,c}{g}$ und $P = \frac{Q(v-c)}{g} = \frac{F\gamma(v-c)^2}{g}$ und für c = o, folgt wie oben $P = \frac{F\gamma v^2}{g} = 2Fh\gamma$, wenn h die zu v gehörende Geſchwindigkeitshöhe iſt. Die Vergleichung der hier gefundenen Reſultate mit den anfänglichen läßt nun folgenden intereſſanten Satz erkennen:

Der Druck, der durch Ablenkung eines Waſſerſtrahls um 90° erzeugt wird, iſt gleich dem Druck, den ein ſenkrechter Stoß deſſelben Strahls gegen eine ebene Fläche hervorbringt, nämlich gleich dem Gewichte einer Waſſerſäule, die den Querſchnitt des Strahls zur Grundfläche und die doppelte Geſchwindigkeitshöhe zur Höhe hat, oder mit anderen Worten: jeder dieſer beiden Drucke iſt doppelt ſo groß als der entſprechende hydroſtatiſche Druck.

Geben wir dem Ablenkungswinkel α den Werth 180°, ſo erhalten wir aus obigen Formeln folgende Reſultate:

$$Pc = \frac{2Q(v-c)\,c}{g} = \frac{2F\gamma(v-c)^2\,c}{g}, \text{ und } P = \frac{2Q(v-c)}{g} = \frac{2F\gamma(v-c)^2}{g},$$

d. h. die Wirkungen einer Ablenkung eines Waſſerſtrahls um 180° (ſ. beiſtehende Figur) ſind überall doppelt ſo groß, als bei der Ablenkung um 90°, und bei einer ruhenden Fläche A B, alſo für c = o, erhält man $P = \frac{2F\gamma v^2}{g} = 4Fh\gamma$, alſo einen Druck, der 4 Mal ſo groß iſt als der entſprechende hydroſtatiſche.

Digitized by Google

Denken wir uns in Fig. II. S. 958 den Wasserstrahl C D horizontal, die hohle Fläche A B aber so gelegt, daß das Wasser in ihr aufwärts fließen muß, so daß es endlich einen höchsten Punkt auf dieser Fläche erlangt und dann in Folge seiner Schwere wieder zurückfließt, so läßt sich fragen, welche Wirkung eine gewisse Wassermenge Q auf A B ausübt. Denken wir uns wieder, die Fläche A B bewege sich in der Richtung des ankommenden Wassers mit der Geschwindigkeit c, so hat das Wasser für seine Bewegung auf der Fläche die relative Anfangsgeschwindigkeit $v - c$ erlangt, aufsteigend eine Höhe von $\frac{(v-c)^2}{2g}$, und herabsinkend abermals eine Geschwindigkeit von $v - c$, mit welcher es die krumme Fläche wieder verläßt, allerdings in einer Richtung, die der ursprünglichen Bewegung entgegengesetzt ist. Da aber die krumme Fläche mit der Geschwindigkeit c zurückweicht, so ist die absolute Geschwindigkeit des die Fläche verlassenden Wassers $c - (v - c) = 2c - v$. Vergleichen wir nun wie bisher das ursprüngliche Arbeitsquantum der Wassermenge mit dem übrigbleibenden, so ergiebt sich

$$Pc = \frac{Qv^2}{2g} - \frac{Q(2c-v)^2}{2g} = \frac{2Q(v-c)c}{g}, \text{ und } P = \frac{2Q(v-c)}{g}.$$

Diese Werthe stimmen mit den Resultaten überein, die bei der Betrachtung der Ablenkung eines Wasserstrahls um 180° gefunden wurden; ihre Anwendung finden sie bei der Theorie der Poncelet-Räder.

2) Stoß des Wassers im Gerinne. Bei den vorstehenden Betrachtungen wurde die Voraussetzung gemacht, daß die Fläche, gegen welche der Wasserstrahl anströmt, breiter sei als der Strahl selbst, damit alles Wasser zum Stoß gelangen könne. Stößt aber Wasser, welches in einem Gerinne fließt, gegen eine Fläche, so ist das stoßende Wasserprisma breiter als die gestoßene Fäche, es wird nicht alles Wasser zum Stoß gelangen, sondern unterhalb und seitwärts der gestoßenen Fläche einiges Wasser vorbeifließen. Allein die sich bewegende Wassermenge wird dennoch durch die Gerinnswandungen zusammengehalten, und bei allen in der Technik vorkommenden Fällen läßt man die gestoßene Fläche so viel als möglich den Querschnitt des Gerinns ausfüllen, so daß im Allgemeinen die Betrachtungen und Resultate des vorigen Abschnitts auch hier zur Anwendung kommen, wobei nur zu merken ist, daß man beim Stoß im Gerinne nie jene Werthe vollständig erreichen kann, sondern daß dieselben hier nur als Grenzwerthe zu betrachten sind. Die gestoßenen Flächen sind beim Stoß im Gerinne in der Regel Wasserradschaufeln; die von ihnen aufgenommene mechanische Arbeit wird auf das Wasserrad übertragen und von diesem der übrigen Maschine mitgetheilt. Die hierher gehörenden Räder sind die sogenannten unterschlächtigen Wasserräder, das gewöhnliche und das Poncelet-Rad; bei ihnen wirkt das Wasser nicht durch sein Gewicht, sondern durch Stoß oder durch Druck in Folge von Ablenkung. Hier kommt es nun darauf an, so viel Arbeitsübertragung für das Rad zu gewinnen als möglich, was im Allgemeinen von der Geschwindigkeit c abhängig ist, mit der die Schaufeln dem Wasserstoß ausweichen.

Für eine ebene Fläche, gegen welche das Wasser senkrecht anstößt, hatten wir oben gefunden:

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

aufgenommene Arbeit $Pc = \frac{Q(v-c)c}{g} = \frac{F\gamma(v-c)^2c}{g}$;

Druck gegen die Fläche $P = \frac{Q(v-c)}{g} = \frac{F\gamma(v-c)^2}{g}$.

Diese Werthe gelten auch für ebene radial gestellte Schaufeln. Ist $c = o$, so steht das Rad still, der Druck gegen die Schaufeln ist zwar am größten, nämlich $\frac{Qv}{g} = \frac{F\gamma v^2}{g}$, aber es ist $Pc = o$, das Rad nimmt keine Arbeit auf. Ist $c = v$, so bewegt sich zwar das Rad so schnell als möglich, aber es ist abermals $Pc = o$, das Rad nimmt keine Arbeit auf. Legt man c nach einander alle Werthe bei von o bis v, so wird P von $\frac{Qv}{g}$ abnehmen bis o, aber Pc wird anfangs zunehmen bis zu einem Maximum, dann aber wieder abnehmen und verschwinden. Wie groß muß nun c sein, damit Pc ein Maximum werde? Die in der Secunde zum Stoß gelangende Wassermasse ist $Q = F\gamma(v-c)$; der zweite Werth dieser Gleichung setzt aber voraus, daß nur ein und dieselbe Fläche vom Wasser gestoßen wird; in diesem Falle ist Q veränderlich und von c abhängig, so daß bei einer langsamen Bewegung der gestoßenen Fläche mehr Wasser zum Stoß gelangt als bei einer schnellen. Bei einem Wasserrade kann man aber nicht geradezu $Q = F\gamma(v-c)$ setzen, denn es tauchen immer neue Schaufeln in das Wasser, so daß alles Wasser, welches durch das Schütz fließt, auch in derselben Zeit zum Stoß gelangen kann, deshalb ist Q als unabhängig von c zu setzen. Es wird nun $Pc = \frac{Q(v-c)c}{g}$ dann einen Maximalwerth annehmen, wenn das Product $(v-c)c$ ein Maximum ist. Ist nun der dem Maximum von $(v-c)c$ entsprechende Werth von c gleich c_1, so ist $(v-c_1)c_1$ stets größer als $(v-c)c$, die Differenz beider nämlich $(v-c_1)c_1 - (v-c)c = (c_1-c)(v-c-c_1)$ stets positiv; dann müssen die beiden Factoren des letzten Products stets zugleich positiv oder zugleich negativ sein, müssen also auch zugleich verschwinden. Also muß, wenn $c_1 - c = o$ ist, auch $v-c-c_1 = o$ sein. Hieraus ergiebt sich, wenn wir c aus diesen Gleichungen eliminiren, $c_1 = \frac{1}{2}v$. Für diesen Werth ist die von der Schaufel aufgenommene Arbeit $Pc_1 = \frac{Qv^2}{4g}$, d. i. die Hälfte von dem in der Wassermenge Q vor dem Stoß enthaltenen Arbeitsvermögen.

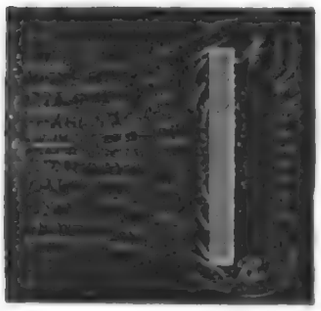
Wasserräder mit geraden, radialen Schaufeln können also von der im Wasser vorhandenen lebendigen Kraft theoretisch nur die Hälfte aufnehmen; in der Wirklichkeit ist die aufgenommene Arbeit noch geringer.

Denkt man sich gekrümmte Schaufeln, auf welche das Wasser im untersten Punkte in der Richtung der Tangente trifft, so daß das Wasser an diesen Schaufeln erst aufwärts läuft, dann wieder zurückfließt (Poncelet-Räder), so ist nach Obigem die aufgenommene Arbeit

$$Pc = \frac{2Q(v-c)c}{g}.$$

Hieraus ergiebt ſich nun unmittelbar in Vergleich mit der eben aufgeſtellten Entwickelung, daß die beſte Geſchwindigkeit dieſer Schaufeln ebenfalls gleich der halben Geſchwindigkeit des Waſſers iſt, daß dann aber (theoretiſch) das ganze Arbeitsvermögen des Waſſers übertragen werden kann. Erfahrungsmäßig geben gute Poncelet-Räder einen Nutzeffect von 70—75 Proc., gute unterſchlächtige Räder mit ebenen Schaufeln aber nur bis 33 Proc.

3) Stoß im unbegrenzten Waſſer. Im unbegrenzten Waſſer muß der Stoß geringer ausfallen als im begrenzten Waſſer, denn jetzt kann das Waſſer zur Seite des geſtoßenen Körpers ausweichen. Wird die ebene Tafel A B (ſ. beiſtehende Figur) im unbegrenzten Waſſer von dem ſich ſchneller als die Tafel bewegenden Waſſer getroffen, ſo kann das ſtoßende Waſſer ſich natürlich vor der Tafel nicht ſammeln, es muß an den Seiten abfließen; indem nun das Waſſer, welches den mittleren Theil der Tafel traf, nach den Seiten hin abfließt, verhindert es, daß die Seitentheile der Tafel von dem Waſſer ſenkrecht getroffen werden können, und je mehr ſich nach den Seitenrändern der Tafel hin die Maſſe des abfließenden Waſſers mehrt, deſto ſchwächer wird hier auch der Stoß der Waſſerfäden gegen die Tafel ausfallen. Haben die abgelenkten Waſſerfäden die Ränder der Tafel paſſirt, ſo werden ſie durch den Einfluß des nicht zum Stoß gekommenen Seitenwaſſers in den Raum hinter der Tafel gedrängt, werden hier eine wirbelnde Bewegung annehmen und dabei einen Druck gegen die Hinterfläche ausüben, welcher dem gegen die Vorderfläche entgegengeſetzt iſt und die Wirkung des Waſſerſtoßes noch mehr mindert. Auf die Stärke dieſer Wirbel und die Größe des durch ſie hervorgerufenen Hinterſtoßes hat beſonders die Länge des Körpers Einfluß. Ein plattenartiger Körper wird gegen die Hinterſeite weniger getroffen werden, weil das an ſeinen Rändern vorbeifließende Waſſer divergirende Richtungen hat; durch den Einfluß der Langſeiten eines prismatiſchen Körpers werden aber die anfangs divergirenden Waſſerfäden zur wieder parallelen Richtung gelenkt und können dann mit größerer Kraft in den Raum hinter dem Körper einſtrömen. Es laſſen ſich ſämmtliche hierher gehörende Erſcheinungen ſchwerlich mit hinreichender Genauigkeit durch Rechnung verfolgen, doch geht zunächſt aus dem eben Aufgeſtellten Folgendes hervor:



1) Außer von der Größe der Vorderfläche des geſtoßenen Körpers wird der Stoß abhängig ſein von der Geſtalt derſelben. Je mehr die Geſtalt der Vorderfläche die Vorbeileitung der Waſſerfäden begünſtigt, deſto geringer wird der Stoß ausfallen. Daß der Stoß gegen eine convexe Fläche geringer ſein wird als gegen eine Ebene von gleichen Dimenſionen, und gegen dieſe wieder geringer als gegen eine concave Fläche, iſt einleuchtend, er wird aber bei ebenen Vorderflächen auch nicht mit der Größe des Flächenraumes proportional ſein. Er wird gegen große Flächen auch relativ größer als gegen kleine ſein, er wird größer ſein, wenn verhältnißmäßig die Umrandung klein iſt; alſo wird der Stoß gegen kreisförmige Flächen größer als gegen quadratiſche ſein, gegen dieſe wieder größer als gegen rectanguläre, gegen durchbrochene Platten wird er geringer ſein als gegen undurchbrochene von gleicher Vorderfläche.

2) Von beſonderem Einfluß auf die Größe des Waſſerſtoßes wird es ſein,

ob die gestoßene Vorderfläche des Körpers ganz untergetaucht ist oder nicht. Bei gleicher Stoßfläche ist der Stoß gegen eine nicht gänzlich untergetauchte Fläche der größere, denn der aus dem Wasser hervorragende Theil dient als Hinderniß für die Vorbeileitung der Wasserfäden, es wird ein theilweises Aufstauen des Wassers an dieser Stelle eintreten, wodurch auch der Druck vermehrt wird.

3) Der Druck gegen plattenförmige Körper ist größer als gegen prismatische von merklicher Länge aus dem oben angeführten Grunde; hat aber der prismatische Körper eine noch größere Länge, als nöthig ist, um die Wasserfäden aus der divergirenden Richtung in die parallele zurückzuführen, so wird der Einfluß der Adhäsion des Wassers an den Langseiten des Körpers den Druck des Stoßes wieder vermehren.

4) Abgesehen von diesen Einflüssen kann man den Druck des Wasserstoßes im begrenzten Wasser als proportional mit dem im Gerinne annehmen, so daß den dort angenommenen Werthen nur ein Coefficient beizufügen wäre, der für jeden besonderen Fall empirisch bestimmt werden müßte. Bezeichnen wir diesen Erfahrungscoefficienten mit k, so bleibt unter Beibehaltung der oben angenommenen Bezeichnung:

$$\text{aufgenommene Arbeitsmenge } Pc = \frac{k \cdot F\gamma (v-c)^2 c}{2g},$$

$$\text{ausgeübter Druck } P = \frac{k F\gamma (v-c)^2}{2g}.$$

Für den Stoß im Gerinne wäre $k = 2$, hier also wird $k < 2$ sein.

Gehen wir nun auf die vielen von Newton, Desaguilliers, Vince, Hutton, Borde, Duchemin über den Stoß im unbegrenzten Wasser angestellten Versuche ein, so hat sich trotzdem noch kein allgemeines und sicheres Gesetz daraus erkennen lassen. Läßt man den Einfluß, den die Gestalt der ebenen Vorderfläche auf den Wasserstoß ausübt, fort, so daß der Wasserstoß P proportional mit F angenommen wird, so folgt aus Duchemin's Versuchen für plattenförmige Körper $k = 1{,}864$. Dieser Werth wird kleiner, wenn die Länge des Körpers in der Stromrichtung zunimmt, bezeichnet l diese Länge, d den Durchmesser der Vorderfläche, so haben jene Versuche folgende Werthe ergeben:

$\frac{l}{d}$	k
0	1,864
0,5	1,848
1	1,479
1,5	1,389
2	1,342
3	1,330
4	1,335
6	1,367
8	1,388

Für den schiefen Stoß setzt Hutton nicht $P = \frac{k F\gamma (v-c)^2}{2g} \sin\alpha^2$, sondern

$\frac{k F \gamma (v-c)^2}{2g} \sin\alpha^{1,842 \cos\alpha}$ und Duchemin ſetzt $\frac{k F \gamma (v-c)^2}{2g} \cdot \frac{2 \sin\alpha^2}{1+\sin\alpha^2}$.

Iſt die Vorderfläche nicht eben, ſondern halbkugelförmig gewölbt, ſo ſollte nach theoretiſchen Betrachtungen der Stoß nur $^2/_3$ Mal ſo groß ſein, als eine ebene Vorderfläche von gleichen Dimenſionen, Duchemin findet aber als Verkleinerungscoefficient $^2/_5$. Der Stoß gegen einen Cylinder ſenkrecht gegen ſeine Axe wird halb ſo groß geſetzt, als der gegen ein Parallelepipedum von gleichen Dimenſionen.

Der Stoß im unbegrenzten Waſſer kommt zur techniſchen Anwendung bei den ſogenannten Schiffmühlenrädern. Dieſe hängen zwiſchen zwei Pontons und reichen mit ihren Schaufeln bis ins freie Waſſer, das weder durch ein Wehr geſpannt, noch durch ein Gerinne eingeſchloſſen werden kann. Es fragt ſich auch hier, welche Geſchwindigkeit den Schaufeln zu geben ſei, damit die aufgenommene Arbeit ein Maximum werde. Konnten wir oben bei den unterſchlächtigen Waſſerrädern annehmen, daß alles durch das Schütz gehende Waſſer zum Stoß komme, ſo iſt hier die Annahme nicht zuläſſig, daß alles in der Richtung auf die Schaufel zu fließende Waſſer zum Stoß gelange, denn theils kann das Waſſer hier der Schaufel leicht ausweichen, theils iſt auch die Zahl der Schaufeln bei den Rädern im freien Waſſer viel geringer als bei den Rädern im Gerinne; deshalb iſt die Menge des zum Stoß gelangenden Waſſers auch von der Geſchwindigkeit der Schaufeln abhängig, ſie iſt geringer bei ſchneller, größer bei langſamer Bewegung. Bei Berechnung der angemeſſenſten Geſchwindigkeit iſt daher die Formel $P c = \frac{k F \gamma (v-c)^2 c}{2g}$ zu Grunde zu legen. Die von der Schaufel F aufgenommene mechaniſche Arbeit wird ein Maximum ſein, wenn $(v-c)^2 c$ ein Maximum iſt. Tritt dieſes Maximum ein, wenn c den Werth c_1 annimmt, ſo muß alſo $(v-c_1)^2 c_1 > (v-c)^2 c$ ſein, ſobald nur c einen anderen Werth als c_1 hat, es iſt daher $(v-c_1)^2 c_1 - (v-c)^2 c = (c_1 - c)\,[v^2 - v(c+c_1) + (c_1^2 + c c_1 + c^2)]$ ſtets poſitiv; es müſſen alſo die beiden Factoren des letzten Products ſtets zugleich poſitiv oder zugleich negativ ſein, ſie müſſen alſo auch zugleich verſchwinden können. Es ſind alſo die beiden Gleichungen $c_1 - c = 0$ und $v^2 \quad v(c_1 + c) + c_1^2 + c_1 c + c^2 = 0$ denkbar, die Elimination von c liefert die Gleichung $v^2 - 2 v c_1 + 3 c_1^2 = 0$, und die Auflöſung dieſer Gleichung giebt $c_1 = {}^1/_3 v$. Ein Schiffmühlenrad liefert alſo dann den größten Nutzeffect, wenn ſeine Schaufeln ſich mit einer Geſchwindigkeit bewegen, die dreimal kleiner iſt als die des bewegenden Waſſers.

4) Stoß der bewegten Luft. Die im vorigen Abſchnitt für den Stoß im unbegrenzten Waſſer aufgeſtellten Formeln gelten zugleich auch für den Luftſtoß, wenn man dort unter γ das Gewicht der Volumeneinheit Luft verſteht. Wegen der Eigenthümlichkeit der Luft iſt aber zu beachten, daß jener Factor γ nicht wie beim Waſſer conſtant iſt, ſondern einerſeits abhängig iſt von der Temperatur und dem Barometerſtande, andererſeits auch von der Geſchwindigkeit der Windbewegung. Denn wenn die Luft auf einen Körper ſtößt, ſo entſteht in Folge der Elaſticität der Luft vor dem Körper eine Verdichtung und hinter demſelben eine Verdünnung, die beide um ſo größer ausfallen, je ſchneller die Luft ſich bewegt. Laſſen wir den Buchſtaben γ in der oben gebrauchten Bedeutung als Bezeichnung für das Gewicht der Volumeneinheit Waſſer, und bezeichnen mit γ' das Gewicht

der Volumeneinheit Luft bei dem Barometerstand b und der Temperatur t° (Celsius), so giebt das Gay-Lussac'sche Gesetz:

$\frac{\gamma'}{\gamma} = \frac{b}{850 \,.\, 0{,}76}\left(\frac{1+18\times 0{,}004}{1+0{,}004\,t}\right) = \frac{0{,}001659\,b}{1+0{,}004\,t}$. Hierbei ist das Gewichtsverhältniß von Luft zu Wasser bei 18° C. und 0,76^m Barometerstand zu $\frac{1}{850}$ und die Ausdehnung für jeden Temperaturgrad zu 0,04 angenommen, da die gewöhnliche atmosphärische Luft wegen ihres Wassergehaltes sich etwas anders verhält als wasserfreie Luft. Bezeichnen wir nun weiter mit γ'' das Gewicht der Volumeneinheit Luft in dem verdichteten Zustande, der durch den Luftstoß an der Vorderfläche des gestoßenen Körpers entsteht, und bezeichnet v die Geschwindigkeit der Luft, v' aber die Geschwindigkeit, mit der die Luft in den luftleeren Raum einströmen würde, so ist nach Duchemin zu setzen:

$\gamma'' = \left(1+\frac{v}{v'}\right)\gamma'$, wenn $v < v$ ist und $\gamma'' = 2\gamma'$, wenn $v > v'$ ist. Nun ist aber $v' = 416{,}34^m$, man kann also setzen $\gamma'' = \left(1+\frac{v}{416{,}34}\right)\gamma' = \left(1+\frac{v}{416{,}34}\right)\frac{0{,}001659\,b}{1+0{,}004\,t}$, da $v > v'$ nicht leicht vorkommen wird. Setzen wir nun diesen Werth anstatt γ in die früheren Formeln, so erhalten wir:

die durch den Luftstoß übertragene Arbeit $P\,c = \frac{k\,F(v-c)^2 c}{2g}\left(1+\frac{v}{416{,}34}\right)\frac{0{,}001659\,b}{1+0{,}004\,t}$,

den durch den Luftstoß ausgeübten Druck $P = \frac{k\,F(v-c)^2}{2g}\cdot\left(1+\frac{v}{416{,}34}\right)\frac{0{,}001659\,b}{1+0{,}004\,t}$.

In diesen Formeln sind alle Längen im Metermaße zu nehmen. Für Körper von besonderer Länge, so wie für den schiefen Stoß gelten die beim Wasserstoß angeführten Modificationen.

B. Widerstand der Flüssigkeiten.

1) Widerstand des Wassers gegen bewegte Körper. Hier könnte man erwarten, daß es unter sonst gleichen Umständen von gleicher Wirkung sein müßte, ob das Wasser sich gegen einen ruhenden Körper bewegt und gegen ihn einen Stoß ausübt, oder ob das Wasser ruht und der Körper sich bewegt, so daß er vom Wasser einen Widerstand erfährt. Die Erfahrung aber widerspricht dieser Erwartung, sie zeigt vielmehr, daß im Allgemeinen der Widerstand des Wassers gegen bewegte Körper kleiner ist als der Wasserstoß gegen ruhende, und zwar ist der Unterschied zwischen beiden am merklichsten bei plattenförmigen Körpern, er wird aber geringer, wenn die Längendimension des prismatischen Körpers zunimmt; denn während bei zunehmender Länge des Körpers der Coefficient k beim Wasserstoß abnimmt, so nimmt er beim Wasserwiderstande zu, bis beide Werthe zuletzt übereinstimmen. Duchemin's Versuche haben für k folgende Werthe ergeben:

$\frac{l}{d}$	k
0	1,254
0,5	1,269
1	1,282
1,5	1,295
2	1,306
3	1,325
4	1,342
6	1,368
8	1,388

Wie oben bezeichnet hier l die Länge und d den Querdurchmeſſer des Körpers.

Das Unterſinken eines ſchweren Körpers im Waſſer läßt ſich in Folge des Widerſtandes, der mit dem Quadrat der Geſchwindigkeit wächſt, nicht als eine gleichförmig beſchleunigte Bewegung anſehen; anfangs wird dieſe Bewegung zwar beſchleunigt werden, aber der Körper wird bald eine ſolche Geſchwindigkeit annehmen, bei welcher der Waſſerwiderſtand die bewegende Kraft faſt ganz aufhebt, ſo daß die übrige Bewegung als nahe gleichförmig angeſehen werden kann. Gehen wir näher auf das Unterſinken einer Kugel im Waſſer ein.

Es ſei r der Radius der Kugel, γ das Gewicht der Volumeneinheit ihrer Maſſe, ihr Gewicht iſt alſo $^4/_3\, r^3 \pi \gamma$. Iſt γ' das Gewicht einer Volumeneinheit Waſſer, ſo iſt der hydroſtatiſche Gegendruck des Waſſers $^4/_3\, r^3 \pi \gamma'$, alſo behält die Kugel im Waſſer noch ein relatives Gewicht von $^4/_3\, r^3 \pi (\gamma - \gamma')$. Für den Widerſtand des Waſſers ſetzen wir im Allgemeinen $\frac{k F \gamma' v^2}{2g}$, k iſt nach obiger Tafel gleich 1,282 und da wir es hier mit einer Kugelfläche zu thun haben, ſo iſt dieſer Coefficient nach Duchemin noch mit $^2/_3$ zu multipliciren, woraus der Werth 0,513 folgt; F iſt als Querſchnitt der Kugel gleich $r^2 \pi$, demnach folgt für den Waſſerwiderſtand (0,513 = k) der Werth $\frac{k r^2 \pi \gamma' v^2}{2g}$, folglich iſt die bewegende Kraft der Kugel $^4/_3\, r^3 \pi (\gamma - \gamma') - \frac{k r^2 \pi \gamma' v^2}{2g}$. Hieraus erkennen wir ſchon, daß die Geſchwindigkeit v nie den Werth überſteigen kann, für welchen die bewegende Kraft verſchwindet; bezeichnen wir mit V den Maximalwerth von v, ſo folgt unmittelbar aus dem letzten Ausdruck: $V^2 = \frac{8 r g (\gamma - \gamma')}{3 k \gamma'}$, alſo $V = 2 \sqrt{\frac{2 r g (\gamma - \gamma')}{3 k \gamma'}}$. Dieſe Geſchwindigkeit wird der ſinkende Körper ſelbſt nicht erreichen, er wird ſich ihr nur annähern können. Aus dem angegebenen Werthe für die bewegende Kraft und aus dem Gewichte des Körpers ſelbſt folgt nun die jedesmalige Beſchleunigung $G = \left(^4/_3\, r^3 \pi (\gamma - \gamma') - \frac{k r^2 \pi \gamma' v^2}{2g}\right) g : {}^4/_3\, r^3 \pi \gamma$, führen wir den conſtanten Werth V ein, ſo erhalten wir

$G = \frac{3 k \gamma'}{8 r \gamma} (V^2 - v^2)$. Für die Bewegung ſelbſt erhalten wir die beiden Fundamentalgleichungen:

$dv = G dt$ und

$ds = v dt$, in denen t die Zeit und s den in der Zeit t zurückgelegten Weg bezeichnet; aus beiden ergiebt ſich durch Elimination von dt die dritte Gleichung:

$ds = \frac{v dv}{G}$.

Die Integration der erſten Gleichung giebt:

$$t = \int \frac{dv}{G} = \frac{8 r \gamma}{3 k \gamma'} \int \frac{dv}{V^2 - v^2} = \frac{4 r \gamma}{3 k \gamma' V} \log \text{nat} \frac{V + v}{V - v}$$

$$= \frac{\gamma}{\gamma - \gamma'} \cdot \frac{V}{2 g} \log \text{nat} \frac{V + v}{V - v}.$$

Hieraus folgt nun weiter, wenn man der Kürze wegen $\frac{2 g (\gamma - \gamma')}{V \gamma}$ gleich n ſetzt, $v = V \frac{e^{nt} - 1}{e^{nt} + 1}$, wenn e die Grundzahl der natürlichen Logarithmen iſt.

Die Integration der dritten Gleichung liefert

$$s = \int \frac{v dv}{G} = \frac{8 r \gamma}{3 k \gamma'} \int \frac{v dv}{V^2 - v^2} = \frac{4 r \gamma}{3 k \gamma'} \log \text{nat} \frac{V^2}{V^2 - v^2}$$

$$= \frac{\gamma}{\gamma - \gamma'} \cdot \frac{V^2}{2 g} \log \text{nat} \frac{V^2}{V^2 - v^2}.$$

Aus dieſen Formeln kann man nun, wenn t gegeben iſt, zuerſt v, dann s beſtimmen.

Beiſpiel. Eine ſechszöllige gußeiſerne Kugel ſinkt im Waſſer unter, man ſoll ihre Bewegung während der erſten 3 Secunden verfolgen.

Es iſt $r = 3'' = 1/4'$, $g = 31{,}25'$, $k = 0{,}513$; für γ und γ' kann man, da es nur auf das Verhältniß dieſer Werthe ankommt, recht wohl die ſpecifiſchen Gewichte ſubſtituiren, alſo für γ den Werth 7,2 und für γ' den Werth 1 ſetzen, dann folgt für die möglichſt größte Geſchwindigkeit der ſinkenden Kugel

$$V = 2 \sqrt{\frac{2 . 0{,}25 . 31{,}25 . 6{,}2}{3 . 0{,}513}} = 15{,}87'.$$

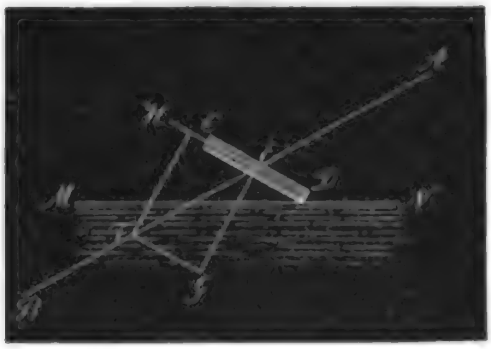
Weiter erhalten wir $n = \frac{2 . 31{,}25 . 6{,}2}{15{,}87 . 7{,}2} = 3{,}438$. Setzen wir nun für t der Reihe nach die erſten ganzen Zahlen, ſo erhalten wir:

t	e^{nt}	v	s
1	31,14	14,88	11,10
2	969,6	15,83	26,45
3	30200	15,86	42,29.

Man ſieht aus dieſen Werthen, daß am Ende der erſten Secunde der Körper ſeine Maximalgeſchwindigkeit faſt erreicht hat, am Ende der dritten Secunde iſt die Annäherung bereits ſo groß, daß der Unterſchied weniger als $^1/_{100}$ Fuß ausmacht.

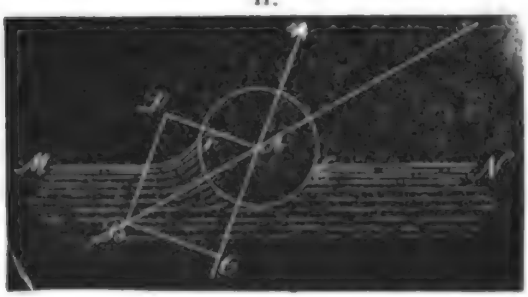
Der Widerſtand des Waſſers gegen Körper, welche in daſſelbe eindringen wollen, iſt in gewiſſen Fällen Urſache, daß dieſe Körper von dem Waſſer wieder zurückſpringen. Dieſe Erſcheinung tritt am leichteſten dann ein, wenn der Körper leicht iſt, mit großer Geſchwindigkeit und unter einem ſehr ſpitzen Winkel ſich gegen die Oberfläche des Waſſers bewegt und nicht mit einer Ecke oder einer ſcharfen Kante, ſondern mit einer breiteren Fläche ziemlich gleichzeitig in das Waſſer eindringen will. Es ſei in nebenſtehender Fig. I. MN die Oberfläche des Waſſers, in der Richtung AB werde ein kleiner plattenförmiger Körper CD gegen das Waſſer geworfen, der im Momente des Eindringens in das Waſſer die in der Zeichnung angegebene Lage habe. Der Widerſtand des Waſſers gegen den eindringenden Körper wird ſenkrecht gegen die vordere Fläche des Körpers CD gerichtet ſein; zerlegen wir nun die Geſchwindigkeit EF des Körpers in die Seitengeſchwindigkeiten EG und EH, von denen die erſte ebenfalls ſenkrecht zur Vorderfläche des Körpers ſteht, die andere damit parallel läuft, ſo wird durch den Waſſerwiderſtand die Geſchwindigkeit EG vernichtet werden, die Geſchwindigkeit EH aber übrig bleiben. Iſt der Körper ſelbſt leicht, und iſt ſeine Geſchwindigkeit groß, ſo wird der große Widerſtand des Waſſers die Geſchwindigkeit EG in ſehr kurzer Zeit vernichten, ſo daß der Körper, jetzt der anderen Seitengeſchwindigkeit allein folgend, in der Richtung EH vom Waſſer abſpringt. Selbſt wenn CD bereits unter die Oberfläche des Waſſers gedrungen iſt, kann die Geſchwindigkeit EH ihn dennoch das Waſſer verlaſſen machen.

I.



Auch Kugeln können, wenn ſie unter einem ſpitzen Winkel gegen das Waſſer geſchoſſen werden, von demſelben wieder abſpringen; da aber hier die Vorderfläche des eindringenden Körpers weniger günſtig für das Eintreten dieſer Erſcheinung iſt, ſo müſſen die beiden anderen Bedingungen, nämlich große Geſchwindigkeit und geringe Neigung der Bahn gegen die Waſſeroberfläche, im beſonderen Maße vorhanden ſein. Es ſei A (ſ. Fig. II.) eine Kugel, im Begriff in die Oberfläche MN einer Waſſermaſſe einzudringen. Die Waſſerwiderſtand richtet ſich gegen den von dem Waſſer benetzten Theil der Kugeloberfläche und iſt anfangs vertical aufwärts gerichtet, da aber die Kugel, während ſie in der geneigten Richtung AB vorſchreitet, etwas Waſſer vor ſich herſchiebt (bei F), ſo hat die Mittelkraft des geſammten Waſſer-

II.



widerstandes eine Richtung C A, die das Profil der vom Wasser benetzten Kugelfläche F E halbirt. Zerlegen wir nun die Geschwindigkeit A B der Kugel in zwei Seitengeschwindigkeiten, von denen die eine A C die Richtung des Wasserwiderstandes hat, die andere A D darauf senkrecht steht, so ist ersichtlich, wie der Wasserwiderstand die eine Bewegung vernichten kann, so daß der Kugel nur die andere Bewegung bleibt, mit der sie das Wasser verläßt. Soll aber die Kugel von der Oberfläche des Wassers wieder zurückspringen, so muß der Wasserwiderstand die ihm entgegenstehende Seitengeschwindigkeit A C früher vollständig vernichtet haben, bevor die Kugel vollständig untertaucht, denn sobald dies geschehen ist, hat der Widerstand des Wassers eine Richtung, die der Bewegungsrichtung genau entgegengesetzt ist, also eine Zerlegung der Bewegung nicht mehr bewirken kann. Außerdem ist ersichtlich, daß Größe und Richtung des Wasserwiderstandes in den einzelnen Augenblicken des Eindringens einer Kugel in eine Wasserfläche verschieden sind, daß also eine allmälige Ablenkung der Kugel aus ihrer Bahn bewirkt wird, die zwar zu einem Zurückspringen von der Wasserfläche führen kann, aber in beschränktem Maße in allen den Fällen vorhanden ist, wenn eine Kugel unter einem schiefen Winkel in eine Wasserfläche eindringt. Die Ablenkung nicht zurückspringender Kugeln ist dann von der Art, daß sie vom Einfallsloth *abgelenkt* werden.

2) *Luftwiderstand.* Zur Bestimmung des Luftwiderstandes sind in den beiden letzten Abschnitten alle Elemente gegeben, denn unter Berücksichtigung der Eigenthümlichkeit der Luft, daß ihre Dichte einerseits mit der jedesmaligen Barometer- und Thermometerhöhe veränderlich ist, andererseits die Geschwindigkeit der Bewegung die Dichte der widerstehenden Lufttheile vergrößert, verhält sich der Luftwiderstand eben so wie der Wasserwiderstand. Die oben für den Widerstand des Wassers gegen untersinkende Kugeln berechneten Formeln gelten auch für den Fall von Kugeln in der Luft, ihre Anwendung möge folgendes Beispiel zeigen.

Beispiel. Eine hohle Kugel von 4″ Durchmesser und $^1/_8$ Pfund Gewicht fällt in der Luft herab, der Barometerstand betrage 0,76^m, die Temperatur 18° C., man soll die Bewegung während der ersten 3 Secunden verfolgen.

Es ist $r = 2'' = {}^1/_6'$, $g = 31{,}25$, $k = 0{,}513$. Eine Wasserkugel von $^1/_6'$ Radius hat ein Gewicht von $^4/_3 (^1/_6)^3 \pi . 66 = 1{,}2799$ Pfund preuß., da unsere Kugel aber nur $^1/_8$ Pfund wiegt, so ist ihr specifisches Gewicht 0,09766. Setzen wir aber die Dichte der ruhenden atmosphärischen Luft gleich 1, so ist die Dichte unserer Kugel $= 850 . 09766 = 83{,}011$. Setzen wir nun in die Formel für die größte Geschwindigkeit $V = 2\sqrt{\frac{2 r g (\gamma - \gamma')}{3 k \gamma'}}$, für γ den Werth 83,011 und für γ' den Werth 1, so erhalten wir $V = 47{,}126$. Die Dichte der widerstehenden Luft steigert sich aber mit der zunehmenden Geschwindigkeit, bleibt also nicht constant, wie wir in dieser Rechnung angenommen haben. Bei einer Geschwindigkeit von v ist sie, wie oben angegeben ist, um das $\left(1 + \frac{v}{416{,}38}\right)$ fache größer als die Dichte der ruhenden Luft, wenn v in Metern angegeben ist, ist v in preußischen Fußen angegeben, so geht dieser Factor in $\left(1 + \frac{v}{1326{,}542}\right)$ über,

iſt $v = 47{,}126'$, ſo folgt, daß für dieſe Geſchwindigkeit die der Bewegung widerſtehende Luft eine Dichte hat, die 1,035525 Mal ſo groß iſt als die der ruhenden Luft. Für die in Rede ſtehende Bewegung ſteigert ſich alſo die Dichte der widerſtehenden Luft von 1 bis 1,035525, nehmen wir den mittleren Werth 1,017762 bei der Rechnung an, ſo erhalten wir angenäherte Reſultate. Setzen wir in obige Formel für γ' den Werth 1,017762, ſo folgt für V der corrigirte Werth 46,7026'. Weiter erhalten wir nun im Anſchluß an die oben entwickelten Formeln $n = \frac{2 \cdot 31{,}25 \cdot 81{,}9932}{46{,}7026 \cdot 83{,}011} = 1{,}321848$, und

t	e^{nt}	v	s
1	3,75035	27,0398	14,4255
2	14,0651	40,5025	49,2790
3	52,749	44,9648	92,4553

Die oben angewendeten, für das Unterſinken oder Fallen einer Kugel in einer widerſtehenden Flüſſigkeit aufgeſtellten Formeln laſſen ſich nicht für die aufſteigende Bewegung einer Kugel in der Luft anwenden, denn jetzt wirken die relative Schwere der Kugel und der Luftwiderſtand gemeinſchaftlich der Bewegung entgegen. Unter Beibehaltung der früheren Bezeichnung iſt das relative Gewicht der Kugel $\frac{4}{3} r^3 \pi (\gamma - \gamma')$, hingegen der Luftwiderſtand $\frac{k r^2 \pi \gamma'}{2g} v^2$, alſo der Geſammtwiderſtand $\frac{4}{3} r^3 \pi (\gamma - \gamma') + \frac{k r^2 \pi \gamma'}{2g} v^2$; hieraus folgt nun die Verzögerung der Bewegung $G = \left(\frac{4}{3} r^3 \pi (\gamma - \gamma') + \frac{k r^2 \pi \gamma'}{2g} v^2\right) g : \frac{4}{3} r^3 \pi \gamma$

$= \frac{\gamma - \gamma'}{\gamma} g + \frac{3 k \gamma'}{8 \gamma} \cdot \frac{v^2}{r}$. Die Fundamentalgleichungen für die Bewegung ſind jetzt $dv = G\,dt$,

$ds = v\,dt$ und

$$ds = -\frac{v\,dv}{G}.$$

Bezeichnen wir mit V die Anfangsgeſchwindigkeit der vertical aufſteigenden Kugel, ſo giebt die Integration der erſten Gleichung nach Beſtimmung der Conſtante

$$t = 2\gamma \sqrt{\frac{2r}{3k(\gamma - \gamma')\gamma' g}} \left(\operatorname{Atg} \frac{V}{2} \sqrt{\frac{3k\gamma'}{2(\gamma - \gamma') r g}} - \operatorname{Atg} \frac{v}{2} \sqrt{\frac{3k\gamma'}{2(\gamma - \gamma') r g}} \right),$$

und die Integration der dritten Gleichung giebt

$$s = \frac{4 r \gamma}{3 k \gamma'} \log \text{nat} \frac{8(\gamma - \gamma') g r + 3 k \gamma' V^2}{8(\gamma - \gamma') g r + 3 k \gamma' v^2}.$$

Setzen wir hierin $v = 0$, ſo erhalten wir die Zeitdauer t' und die Höhe s' der ganzen aufſteigenden Bewegung,

$$t' = 2\gamma \sqrt{\frac{2r}{3k(\gamma - \gamma')\gamma' g}} \operatorname{Atg} \frac{V}{2} \sqrt{\frac{3k\gamma'}{2(\gamma - \gamma') r g}}$$

$$s' = \frac{4 r \gamma}{3 k \gamma'} \log \text{nat} \frac{8(\gamma - \gamma') g r + 3 k \gamma' V^2}{8(\gamma - \gamma') g r}.$$

In vorſtehender Rechnung iſt, um die Integration in geſchloſſener Form zu ermöglichen, die Dichte γ' der widerſtehenden Luft als conſtant angenommen, während ſie doch von der Geſchwindigkeit abhängig iſt. Die Reſultate ſind deshalb nicht ganz genau, eine genügende Annäherung an die richtigen Werthe werden wir aber erhalten, wenn wir, wie es oben ſchon geſchehen iſt, für γ' den mittleren Werth annehmen; der größte Werth von γ' findet im Anfange der Bewegung ſtatt, wenn $v = V$ iſt, der kleinſte aber Ende der aufſteigenden Bewegung, wenn $v = o$ iſt.

Beiſpiel. Eine ſechszöllige gußeiſerne Kugel werde bei 0,76^m Barometerſtand und 18° C. Temperatur mit 1000′ Geſchwindigkeit vertical aufwärts geſchoſſen, wie hoch wird ſie ſteigen und wie lange wird die ſteigende Bewegung dauern.

Es iſt $r = 3'' = 0{,}25'$, $k = 0{,}513$, $g = 31{,}25'$ $V = 1000'$. Für γ und γ' können wir wieder Verhältnißzahlen ſetzen. Setzen wir die Dichte der ruhenden atmoſphäriſchen Luft bei 0,76^m Barometerſtand und 18° C. gleich 1, ſo iſt $\gamma = 7{,}2 \times 850 = 6120$. Die Luft, welche die Kugel im Anfange ihrer Bewegung vor ſich her treibt, hat nach der oben angegebenen Formel eine Dichte von $1 + \frac{V}{1326{,}542} = 1{,}75384$, der für γ' zu ſetzende mittlere Werth beträgt danach 1,37692. Aus dieſen Werthen ergiebt ſich nun $t' = 5{,}02319$ Secunden und $s' = 1273{,}389$ Fuß. Die aufſteigende Bewegung der Kugel dauert alſo etwas über 5 Secunden und die Kugel erhebt ſich etwas über 1273 Fuß. Dieſelbe Kugel würde ohne den Luftwiderſtand ſich bis zu einer Höhe von 16000 Fuß erheben und würde dazu 32 Secunden gebrauchen.

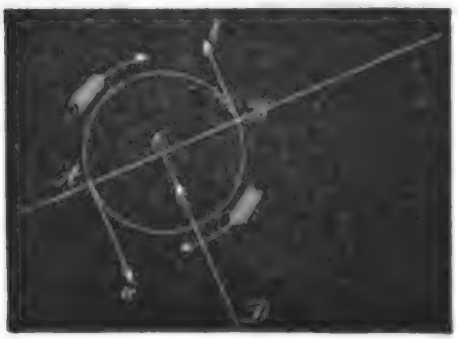
Wird eine Kugel in ſchräger Richtung geworfen, ſo iſt die Rechnung zur Verfolgung ihrer Bewegung noch zuſammengeſetzter. Die Bahn iſt dann nicht, wie beim Wurf im luftleeren Raume, eine Parabel mit zwei ſymmetriſchen Armen, ſondern der abwärts gerichtete Arm iſt kürzer und ſteiler als der aufwärts ſteigende. Die Bahnlinie heißt in dieſem Falle balliſtiſche Curve.

Bei geworfenen homogenen Kugeln, denen von vorn herein nur eine fortſchreitende, aber keine rotirende Bewegung ertheilt iſt, wirkt der Luftwiderſtand nur einfach hemmend, durch ſeinen Einfluß wird die Geſchwindigkeit der verticalen und der horizontalen Bewegung vermindert. Denn da der Luftwiderſtand ſich gleichmäßig über die vordere Halbkugelfläche verbreitet, ſo hat die Mittelkraft dieſer einzelnen Widerſtände eine Richtung, die durch den Schwerpunkt der Kugel geht. In allen anderen Fällen iſt aber die Wirkung des Luftwiderſtandes eine zuſammengeſetzte. Iſt die der Luft entgegenſtehende Vorderfläche des geworfenen Körpers nicht nach der Richtung der jedesmaligen Bewegung ſymmetriſch oder, wenn dies auch der Fall ſein ſollte, iſt der Körper ſelbſt nicht homogen, ſo wird die Mittelkraft des Luftwiderſtandes nicht durch den Schwerpunkt des geworfenen Körpers gehen und folglich, wie alle Kräfte von dieſer Lage, eine Rotation oder Oscillation hervorbringen. Die bekannte Erſcheinung, daß längliche Körper, die an einem Ende ſchwerer als am anderen ſind, beim Wurf ſich mit dem ſchwereren Ende voran bewegen und einer Rotation widerſtreben, wenn dieſe ihnen auch anfangs ertheilt iſt, iſt nur eine Folge von dem Luftwiderſtande. Der Schwerpunkt ſolcher Körper liegt in der Nähe des ſchweren Endes, die Mittelkraft des

Luftwiderſtandes iſt aber, wenn der Körper bei der Bewegung eine Querlage annimmt, gegen die Mitte des Körpers gerichtet, deshalb entſteht ſtets in ſolchem Falle das Beſtreben zu einer Drehbewegung, durch welche die Mitte eines ſolchen Körpers hinter ſeinen Schwerpunkt gebracht wird. Im luftleeren Raum würde ein ſolcher Körper in jeder Lage geworfen werden können und eine ihm ertheilte Rotation würde keine Hinderung erfahren.

Auf geworfene rotirende Kugeln hat der Luftwiderſtand noch eine eigenthümliche Wirkung. Daß Geſchützkugeln bei ihrer Bewegung rotiren, iſt der gewöhnliche Fall. Nur wenn der Einfluß des explodirenden Pulvers auf die Kugel im Geſchützrohre ein ganz gleichmäßiger wäre, würde die Kugel das Rohr ohne Rotation verlaſſen; das iſt aber nicht der Fall. Zugleich ſchlägt die Kugel, ehe ſie das Rohr verläßt, einige Mal an die Wand des Rohres an, und die anſchlagende Stelle der Kugel erfährt hier wegen der Reibung eine Verzögerung; ferner ſtrömt das durch die Entzündung des Pulvers entſtandene Gas auch neben der Kugel aus dem Rohre, aber nicht an allen Seiten gleichmäßig, ſondern oberhalb der Kugel mehr als ſeitwärts und unterwärts. Dies ausſtrömende Gas, inſofern es mit Reibung an der oberen Seite der Kugel vorbeiſtrömt, ertheilt der Kugel eine rotirende Bewegung. In jedem einzelnen Falle kann man nicht vorauswiſſen, in welchem Sinne eine Kanonenkugel rotiren wird, daß ſie aber rotirt, iſt der gewöhnliche Fall. Die rotirende Kugel nun reibt ſich an der Oberfläche mit der umgebenden Luft, dieſe Reibung läßt ſich als eine Gruppe von Kräften denken, die an den einzelnen Peripheriepunkten der Kugel in der Richtung der Tangente, aber der vorhandenen Rotation entgegen, wirken. Rotirt die Kugel in gleichmäßig dichter Luft, wie es etwa bei einer um eine feſte Are rotirenden Kugel der Fall iſt, dann wird in Folge der Luftreibung zwar die Rotation vermindert und allmälig aufgehoben, aber die einzelnen reibenden Kräfte liefern keine Mittelkraft, die dem Schwerpunkt der Kugel eine Bewegung ertheilen möchte. Das iſt nun bei einer geworfenen Kugel anders. Vor der Kugel iſt die Luft verdichtet, hinter der Kugel iſt ſie verdünnt, deshalb iſt auch die Reibung vorn ſtärker als hinten, und aus den einzelnen reibenden Kräften reſultirt eine Mittelkraft, welche auf den Schwerpunkt der Kugel wirkt und ſie aus ihrer Bahn zu drängen ſtrebt. Die nähere Wirkungsweiſe hängt von der Lage der Rotationsare ab.

Bezeichnet der Kreis C den Verticaldurchſchnitt einer Kugel, die ſich von A nach B bewegt, und die zugleich von hinten über oben nach vorn um eine horizontale Are rotirt, die auf der Bahnrichtung ſenkrecht ſteht, ſo iſt die Luftreibung an der Vorderfläche bei B aufwärts wie B b gerichtet, die Reibung an der hinteren Fläche bei A iſt hingegen abwärts wie A a gerichtet, die Reibung an der oberen Seite iſt nach hinten, die an der unteren Seite nach vorn gerichtet. Da aber wegen der bei B verdichteten Luft die Reibung B b größer iſt als die Reibung A a, ſo haben die nach oben gerichteten reibenden Kräfte ein Uebergewicht, und aus allen reibenden Kräften gemeinſchaftlich reſultirt eine Mittelkraft D C, die den Mittelpunkt der Kugel nach oben treibt, die Kugel hebt



und Veranlassung wird, daß sie weiter fliegt, als es ohne diesen Einfluß der Rotation der Fall sein würde. Hätte aber die Kugel die entgegengesetzte Rotation, nämlich die von hinten über unten nach vorn, gehabt, so mußte die Wirkung auch die entgegengesetzte sein. Die überwiegende Reibung an der vorderen Seite der Kugel ist dann nach unten gerichtet, die Kugel wird dann durch den Gesammteinfluß der Reibung herabgedrückt und sie fällt früher nieder, als es ohne die Rotation der Fall gewesen wäre. In diesen beiden Rotationsfällen wurde die Kugel entweder gehoben oder niedergedrückt, sie wurde weiter getragen oder früher zum Fallen gebracht, sie blieb aber in der Verticalebene der Bahn, eine Ablenkung nach rechts oder links fand nicht statt. Das wird nun immer der Fall sein, wenn die Rotationsaxe horizontal und senkrecht zur Verticalebene der Bahn gerichtet bleibt. Verläßt sie aber diese Lage und nimmt eine schräge oder verticale Richtung an, so tritt zugleich eine seitliche Ablenkung der Kugel ein. Nehmen wir der Einfachheit wegen eine verticale Rotationsaxe an, und die Rotation geschehe von hinten über rechts nach vorn, so hat die überwiegende Reibung an der Vorderfläche eine Richtung nach links, so daß auch die Kugel selbst aus der Verticalebene der ursprünglichen Bahn nach links abgelenkt wird. Die entgegengesetzte Rotation bringt auch die entgegengesetzte Wirkung, nämlich eine Ablenkung nach rechts hervor. Denken wir uns nun drittens, die Wurflinie sei nahezu horizontal, die Rotationsaxe der Kugel sei aber auch horizontal und falle mit der Wurflinie zusammen, so daß also der eine Endpunkt der Rotationsaxe an der Vorderfläche liegt und der verdichteten Luft zugekehrt ist, der andere aber der verdünnten Luft zugewendet ist, so vertheilen sich die reibenden Kräfte gleichmäßig um die Rotationsaxe, ein einseitiges Ueberwiegen der Reibung an der Vorderfläche findet dann eben so wenig statt, als irgend eine Ablenkung aus der eigentlichen Bahn. Das sicherste Schießen wird also dann stattfinden, wenn man der Kugel zugleich eine Rotation um eine horizontale Längsaxe ertheilen kann. Erreicht wird dieser Zweck auch durch die sogenannten gezogenen Gewehrläufe; denn diese nöthigen durch die schraubenförmigen Windungen im Innern die Kugel zu einer Rotation um eine Längsaxe, führen damit zur Ausschließung der übrigen Rotation und zu einem sicheren Treffen des Ziels. Kommt es aber weniger hierauf, als auf die Erzielung einer großen Wurfweite an, so kann man sich dazu der Rotation bedienen. Liegt der Schwerpunkt, z. B. einer großen Hohlkugel, nicht im Mittelpunkte und wird die Kugel beim Laden so gelegt, daß ihr Schwerpunkt vertical unter ihrem Mittelpunkt zu liegen kommt, so muß sie, wenn sie das Rohr verläßt, so um eine horizontale Axe rotiren, daß ihre Theile von hinten über oben nach vorn sich drehen, folglich muß dann auch, wie oben gezeigt ist, die Wurfweite die verhältnißmäßig größte werden *).

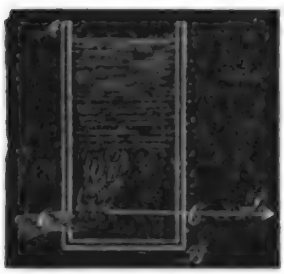
C. Reaction ausströmender Flüssigkeiten.

Sind die Seitenwände eines mit Wasser gefüllten Gefäßes geschlossen, so heben sich die hydrostatischen Seitendrucke der Flüssigkeit gegen die Gefäßwandungen auf, das Gefäß erleidet nur einen Verticaldruck gleich dem Gewicht der darin enthaltenen Flüssigkeit. Befindet sich aber in der Seitenwand eine Oeffnung, so fällt der gegen diesen Wandtheil gerichtete Seitendruck fort, dadurch wird der

*) Vergl. Magnus, Pogg. Ann. Bd. 88. S. 1 ff.

gegen den gegenüberliegenden Wandtheil gerichtete Seitendruck frei und das Gefäß muß nach der der Oeffnung entgegengeſetzten Seite hin einen Druck erleiden. Es liegt nun die Erwartung nahe, daß dieſer Seitendruck des Gefäßes gleich dem wegen der Oeffnung ausfallenden hydroſtatiſchen Drucke ſein müßte, alſo gleich dem Gewichte einer Flüſſigkeitsſäule, welche die Wandöffnung zur Baſis und die Höhe der Oberfläche der Flüſſigkeit über dem Schwerpunkt der Oeffnung zur Höhe hätte, aber dieſe Erwartung iſt nicht richtig; der Seitendruck, den das Gefäß erleidet, iſt größer als der hydroſtatiſche Druck, der gegen das der Oeffnung gegenüberliegende Wandſtück gerichtet iſt; denn das aus der Oeffnung ausſtrömende Waſſer übt einen Rückſtoß (Reaction) aus, welcher zu jenem hydroſtatiſchen Druck noch hinzukommt.

In dem mit Waſſer gefüllten Gefäße AB (ſ. beiſtehende Figur) befinde ſich in der Seitenwand eine Oeffnung in der Größe F, die mittlere Höhe des Waſſerſpiegels über dieſer Oeffnung ſei h, die (theoretiſche) Ausflußgeſchwindigkeit des Waſſers alſo $v = \sqrt{2gh}$ und die theoretiſche Ausflußmenge in der Secunde $Fv = F\sqrt{2gh}$. Bezeichnet γ das Gewicht der Volumeneinheit Waſſer, ſo iſt $Fv\gamma$ das Gewicht der in der Secunde zum Ausfluß kommenden Waſſermenge und $Fv\gamma\frac{v^2}{2g} = \frac{Fv^3\gamma}{2g}$ das Arbeitsvermögen dieſer Waſſermenge. Bewegt ſich nun das Gefäß in einer der Ausflußbewegung genau entgegengeſetzten Richtung CD mit der Geſchwindigkeit c, ſo iſt die abſolute Geſchwindigkeit des ausfließenden Waſſers nicht mehr v, ſondern vielmehr nur $v - c$, ſein Arbeitsvermögen beträgt alſo nur $Fv\gamma . \frac{(v-c)^2}{2g}$. Ziehen wir dieſe Größe ab von dem Arbeitsvermögen, welches dieſelbe Waſſermenge urſprünglich beſaß, ſo erhalten wir die Arbeit, welche durch die Reaction des Waſſers auf das Gefäß übertragen iſt, dieſelbe hat alſo die Größe



$$\frac{Fv^3\gamma}{2g} - \frac{Fv(v-c)^2\gamma}{2g} = \frac{Fvc(2v-c)\gamma}{2g}.$$

Uebt die Reaction des Waſſers auf die der Ausflußöffnung gegenüberliegende Gefäßwand den Druck P aus, ſo iſt die Arbeit dieſes Druckes Pc; da dieſer Arbeitswerth dem vorigen gleich ſein muß, ſo ergiebt ſich

$$P = \frac{Fv(2v-c)\gamma}{2g}.$$

Wird das Gefäß nicht bewegt, ſo iſt $c = 0$ und es folgt unmittelbar:

$$P' = \frac{Fv^2\gamma}{g} = 2Fh\gamma$$

d. h. die (theoretiſche) Rückwirkung des aus einer Gefäßöffnung in horizontaler Richtung ausfließenden Waſſers auf die Wand des ruhenden Gefäßes iſt gleich dem Gewicht einer Waſſerſäule, welche die Ausflußöffnung zur Grundfläche und

die **doppelte** Druckhöhe des Waſſers zur Höhe hat. Der wirkliche Werth dieſer Reaction ſtellt ſich etwas geringer, theils wegen der Verminderung der Ausflußöffnung, theils wegen der Contraction des Waſſerſtrahls. Die Größe dieſer Reaction bleibt auch dieſelbe, wenn auch die Richtung der Ausflußbewegung nicht horizontal iſt, und die Richtung der Reaction bleibt ſtets der Richtung der Ausflußbewegung entgegengeſetzt. —

Iſt $v = c$, d. h. bewegt ſich das Gefäß mit derſelben Geſchwindigkeit rückwärts, mit welcher das Waſſer ausfließt, ſo iſt die abſolute Geſchwindigkeit des ausfließenden Waſſers gleich o, und für P erhalten wir den Werth

$$P'' = \frac{F v^2 \gamma}{2g} = F h \gamma.$$

Der Druck gegen die der Oeffnung entgegenſtehende Gefäßwand iſt in dieſem Falle nur dem einfachen hydroſtatiſchen Druck gleich. Iſt $c = v$, ſo iſt auch die Arbeit der Reaction ein Maximum.

Angewendet wird die Reaction des ausfließenden Waſſers zum Maſchinenbetriebe bei dem Reactionsrade oder dem Segner'ſchen Waſſerrade, welches vervollkommnet als ſchottiſche oder Whitelaw'ſche Turbine vorkommt.

Auch die comprimirte Luft übt beim Ausfluß aus einem Gefäße einen Rückſtoß auf die Rückwand des Gefäßes aus, der ſich genau ſo wie die Waſſerreaction verhält. W. S.

Mechaniſche Arbeit. Unter der Arbeit oder Leiſtung einer Kraft verſteht man die Summe der Wirkungen, welche eine Kraft während der Bewegung hervorbringt.

Wenn eine Kraft auf einen Körper wirkt, und ihr eine andere gleich große entgegen wirkt, ſo heben beide Kräfte ſich gegenſeitig auf, es entſteht keine Bewegung. Obwohl das Daſein beider Kräfte einen ruhenden Druck hervorbringt, ſo kann doch nicht von Wirkungen der Kräfte die Rede ſein, ſo lange auch dieſer Zuſtand dauert, denn es tritt keine mechaniſche Aenderung ein, die als eine Wirkung jener erſten Kraft aufgezeigt werden könnte. Deshalb kann von der Arbeit einer Kraft, die im Gleichgewicht ſteht mit einer oder mehreren anderen, nicht geſprochen werden.

Erſt wenn durch die Kraft Bewegung hervorgebracht wird, können Aenderungen gewiſſer Verhältniſſe eintreten, in denen ſich die Wirkſamkeit der Kraft oder ihre Arbeit zu erkennen giebt. Zu dieſen auf Rechnung der Kraft zu ſtellenden Veränderungen iſt aber von vornherein die größere oder geringere Ortsveränderung nicht zu rechnen, denn dieſe tritt bei einem einmal bewegten Körper ohne weitere Kraftwirkung ein, blos in Folge des Beharrungsvermögens. Die beſonderen Wirkungen der Kraft während der Bewegung ſind doppelter Art.

Wir unterſcheiden zunächſt zwei Fälle: entweder ſtehen der bewegenden Kraft andere Kräfte hindernd entgegen oder nicht. Stehen ihr keine Hinderniſſe entgegen, ſo verſetzt ſie den Körper, auf den ſie wirkt, aus der Ruhe in Bewegung und dieſe Bewegung wird fortwährend beſchleunigt. Die Wirkung oder Leiſtung der Kraft beſteht dann in der Erzeugung einer gewiſſen Geſchwindigkeit in einer gewiſſen Maſſe.

Steht aber der bewegenden Kraft eine andere Kraft hindernd entgegen, ſo kann Bewegung entſtehen, wenn die hindernde Kraft kleiner iſt als die bewegende;

inſofern nun eine Bewegung entſteht, die entgegengeſetzt gerichtet iſt mit der hindernden Kraft, ſo ſagt man, dieſe letztere werde von der bewegenden Kraft überwunden, und dieſe Ueberwindung eines Hinderniſſes iſt dann die zweite Form, unter welcher die Arbeit einer Kraft auftreten kann. Mit dem Ueberſchuß der bewegenden Kraft über die hindernde wird die entſtandene Bewegung fort und fort beſchleunigt werden, ſo daß die Geſammtarbeit der Kraft beſteht 1) aus Geſchwindigkeit, die in einer gegebenen Maſſe erzeugt iſt, und 2) aus Ueberwindung eines gewiſſen Hinderniſſes. Sollte bei einem bewegten Körper das Hinderniß ſo ſteigen, daß es der bewegenden Kraft gleich käme, ſo würde keine Beſchleunigung der Bewegung mehr eintreten, die geſammte Arbeit der Kraft beſtände fortan nur in der Ueberwindung des Hinderniſſes.

Es fragt ſich jetzt, wie mißt und vergleicht man die beiden Formen der mechaniſchen Arbeit.

Die Ueberwindung eines Hinderniſſes iſt proportional mit dem Hinderniß und mit Wege, auf welchem es überwunden, d. i. zurückgedrängt iſt. Der erſte Theil dieſes Satzes iſt aus ſich ſelbſt klar, der zweite folgt aus der Betrachtung, daß die Wirkſamkeit des Hinderniſſes für jeden Theil des Weges, auf welchem es wirkt, dieſelbe iſt. Ein Körper, der 10 Pfund ſchwer iſt, ſetzt dem Beſtreben, ihn vertical aufwärts zu heben, ein Hinderniß von 10 Pfund entgegen, wird dieſer Körper nun mehrere Fuß hoch gehoben, ſo iſt der Widerſtand, den das Gewicht dieſer Bewegung entgegenſetzt, gewiß für jeden Fuß Hebung derſelbe, ſo wie auch die Anſtrengung zur Ueberwindung dieſes Widerſtandes für jedes einzelne Pfund des Körpers dieſelbe ſein wird. Als Einheit nimmt man hierbei die Arbeit oder Anſtrengung, die nöthig iſt, um 1 Pfund um 1 Fuß zu heben, und nennt dieſe Einheit ein Fußpfund. (Für franzöſiſches Maß und Gewicht dient zur Einheit die Anſtrengung, die nöthig iſt, um ein Kilogramm um einen Meter zu heben, und heißt Kilogrammmeter.) Um nun irgend eine Widerſtandsüberwindung nach Fußpfunden zu meſſen, braucht man nur den in Pfunden ausgedrückten Widerſtand mit der in Fußen ausgedrückten Länge des Weges, auf welchem dieſer Widerſtand gewirkt hat, zu multipliciren. Iſt z. B. eine Zugkraft von 200 Pfund nöthig, um bei einem beladenen Wagen auf horizontaler Bahn alle Reibungshinderniſſe zu überwinden, und wird dieſer Wagen um 30 Fuß fortbewegt, ſo war die dabei ausgeübte Arbeit gleich $30 \times 200 = 6000$ Fußpfund, d. h. ſie war 6000 Mal ſo groß als die Anſtrengung, die nöthig iſt, um 1 Pfund 1 Fuß hoch zu heben. Muß ein Spaten, um in das Erdreich einzudringen, einen Druck von 40 Pfund erfahren, ſo gehört zu jedem $^3/_4$ Fuß tiefen Spatenſtich eine Arbeit von $^3/_4 \times 40 = 30$ Fußpfund.

Hierbei iſt zu beachten, daß die Größe der Arbeit durchaus unabhängig iſt von der dazu verbrauchten Zeit, dieſelbe Arbeit kann in wenig und in viel Zeit ausgeführt werden, ohne deshalb an Größe eine andere zu werden.

Wenn die Arbeit einer Kraft in erzeugter Geſchwindigkeit beſteht, ſo fragt es ſich, wie dieſe Arbeitsgröße gemeſſen wird durch daſſelbe Arbeitsmaß, das Fußpfund. Ein bewegter Körper hat das Vermögen gewiſſer Hinderniſſe zu überwinden; ſo läuft ein in Bewegung geſetzter Wagen noch eine Strecke ohne Zugkraft fort, und überwindet auf dieſer Strecke die ſämmtlichen Reibungshinderniſſe ſeiner Bewegung; ein Hammer, der auf ein glühendes Stück Eiſen fällt, überwindet hier Feſtigkeitshinderniſſe und giebt dem Eiſenſtück eine andere Geſtalt, ein

aufwärts geworfener Körper ſteigt bis auf eine gewiſſe Höhe und überwindet auf dieſem Wege ſeine eigene Schwere. Jeder bewegte Körper beſitzt alſo ein Vermögen, eine gewiſſe Arbeitsgröße auszurichten, und dieſes Arbeitsvermögen nennt man ſeine lebendige Kraft*). (Die lebendige Kraft iſt keine Kraft im ſtreng mechaniſchen Sinne, denn die Kräfte werden gemeſſen durch die Einheit des Pfundes, die lebendige Kraft aber wird durch die Einheit des Fußpfundes gemeſſen.)

Die Größe der lebendigen Kraft eines Körpers, der P Pfund ſchwer iſt und eine Geſchwindigkeit von v Fußen beſitzt, wird erkannt, wenn man annimmt, er bewege ſich mit dieſer Geſchwindigkeit vertical aufwärts; denn alsdann hat er ſein eigenes Gewicht P als Hinderniß zu überwinden, und da er ſich nach der Lehre von der gleichförmig verzögerten Bewegung bis auf die Höhe $\frac{v^2}{2g}$ ($g = 31{,}25$ Fuß) erhebt, ſo folgt unmittelbar für die Größe der in ihm vorhandenen lebendigen Kraft der Werth $P \cdot \frac{v^2}{2g}$ oder $\frac{1}{2} M v^2$, wenn M die Maſſe des Körpers, da $P = Mg$ iſt. Dieſes Arbeitsvermögen beſitzt nun der Körper überhaupt, er mag ſich nun wirklich vertical aufwärts oder in einer beliebig anderen Richtung bewegen.

Erſcheint nun die Arbeit einer Kraft im Allgemeinen zum Theil als Ueberwindung gewiſſer Hinderniſſe, zum Theil aber als lebendige Kraft in Bewegung geſetzter Maſſen, ſo läßt ſich nun das wichtige Geſetz zeigen, daß die Summe beider durch dieſelbe Einheit gemeſſenen Wirkungsarten ſtets dieſelbe Größe hat, wenn dabei dieſelbe Kraft K denſelben Weg s zurücklegt, und daß dieſe Summe ſtets dem Product Ks gleich iſt. Um dieſen Satz zu beweiſen, wollen wir annehmen, eine Kraft K wirke auf einen Körper vom Gewicht P und ertheilte ihm eine Geſchwindigkeit v, während beide den Weg s zurücklegen, dabei werde ein Widerſtand Q um den Weg s' zurückgedrängt. Die Arbeit des Widerſtandes iſt Qs', die erzeugte lebendige Kraft iſt $\frac{Pv^2}{2g}$, es bleibt alſo die Richtigkeit folgender Gleichung zu beweiſen:

$$Ks = \frac{Pv^2}{2g} + Qs'.$$

Der Widerſtand Q legt einen anderen Weg zurück als der Körper P oder als die Kraft K, nehmen wir aber an, daß ihre Bewegungen ſtets proportional bleiben, ſo folgt, daß der Widerſtand Q, um aufgehoben zu werden, ein Kraft $X = \frac{Qs'}{s}$ in Anſpruch nimmt, es muß alſo $K > \frac{Qs'}{s}$ ſein, wenn überhaupt Bewegung entſtehen ſoll. Der Ueberſchluß von K, nämlich $K - \frac{Qs'}{s} = \frac{Ks - Qs'}{s}$

*) Früher und noch hin und wieder jetzt nannte man lebendige Kraft das Product aus der Maſſe M eines bewegten Körpers mit dem Quadrat ſeiner Geſchwindigkeit v, ohne mit dem Product Mv^2 eine beſtimmte mechaniſche Größe zu bezeichnen. Es iſt aber beſſer unter lebendiger Kraft des Arbeitsvermögen zu verſtehen, wodurch ſich ihr Werth auf die Hälfte des älteren Werthes reducirt.

wird auf Erzeugung von Bewegung verwandt, und da er auf einen Körper vom Gewicht P wirkt, ſo erzeugt er in demſelben eine Beſchleunigung von $\frac{Ks - Qs'}{s} . g : P$ oder $\frac{(Ks - Qs')\,g}{Ps}$, folglich auf dem Wege s eine Geſchwindigkeit $v = \sqrt{2s . \frac{(Ks - Qs')}{Ps} g} = \sqrt{\frac{Ks - Qs'}{P} . 2g}$.

Setzen wir dieſen Werth für v in obige Gleichung ein, ſo wird ſie identiſch, womit alſo ihre Richtigkeit bewieſen iſt.

Der auf Erzeugung von lebendiger Kraft verwandte Theil der Kraft-Arbeit iſt an den bewegten Körper übergegangen und kann von demſelben vorkommenden Falls verbraucht werden. Wenn daher an einer Maſchine vorübergehend die Hinderniſſe größer ſind als die bewegenden Kräfte, ſo daß die Arbeit des Hinderniſſes nicht aufgewogen werden kann durch die Arbeit der Kraft, ſo wird der zur Ausgleichung nöthige Theil von Arbeit von der lebendigen Kraft der bewegten Maſchinentheile entnommen, die in Folge dieſes Verluſtes ſich langſamer bewegen und endlich zum Stillſtand kommen, wenn jenes Uebergewicht der Hinderniſſe über die bewegenden Kräfte fortdauert. Daher erſcheint die lebendige Kraft als eine noch nicht zur Ausführung gekommene, aufgeſparte Arbeit, und es kann ſelbſt das Intereſſe eintreten, eine große Menge ſolcher Arbeit in der Form von lebendiger Kraft aufzuſparen, um davon beſonderen Gebrauch zu machen. Dieſe Bedeutung hat beſonders das Schwungrad. (Vergl. d. Art. Maſchine.) Es giebt aber noch einige andere Arten mechaniſcher Arbeit, die als aufgeſparte Arbeit betrachtet werden können, inſofern man von dem Reſultat die darauf verwendete Arbeit wieder zurückerhalten kann. Dahin gehört zunächſt die Arbeit in der Form gehobener Laſten; die darauf verwandte Arbeit kann zu irgend einer Zeit wieder zurückerſtattet werden, wenn man die gehobene Laſt wieder herabſinken läßt; denn dieſelbe Arbeit Pb, die ich anwenden muß, um ein Gewicht P auf die Höhe h zu heben, kann ich wieder erhalten, indem jenes Gewicht um dieſe Höhe herabſinkt. Wird ein Uhrgewicht aufgezogen, ſo wird der Uhr damit ein gewiſſes Arbeitsquantum übergeben; dadurch, daß das Gewicht wieder herabſinkt, geht dieſes Arbeitsquantum an das Uhrwerk über und überwindet hier die verſchiedenen Reibungshinderniſſe im Gange der Uhr. Eben ſo wie ein gehobenes Gewicht als conſervirte Arbeit erſcheint, eben ſo auch eine geſpannte Feder oder eine comprimirte Luftmenge. Die zur Spannung der Feder oder zur Comprimirung der Luft verbrauchte Arbeit kann wieder erhalten werden, indem jene ſich auf ihren urſprünglichen Zuſtand ausdehnen.

Andere Arten der Arbeit können aus dem gewonnenen Reſultat derſelben nicht wieder zurückerhalten werden, ſie erſcheinen vollſtändig aufgezehrt. Dahin gehört die Arbeit zur Ueberwindung der Reibung, der Feſtigkeit bei Stoffen, die zerkleinert ſind, eben ſo der Theil von lebendiger Kraft, der beim Stoß unelaſtiſcher Körper verloren geht. Früher ſagte man geradezu, durch Reibung, Stoß und dergleichen gehe Arbeit, lebendige Kraft verloren, in neuerer Zeit hat man in dieſem ſcheinbaren Verlorengehen von Arbeit ein weſentliches Verhältniß der Naturkräfte erkannt, indem ſich gezeigt hat, daß für jedes beſtimmte Quantum Arbeit, das da ſcheinbar verloren geht, ein beſtimmtes Quantum Wärme auftritt, ſo wie umgekehrt folgt, daß wenn die Wärme als Urſache von Arbeit auftritt,

ein bestimmtes Quantum Wärme als Wärme aufgehört und sich in mechanische Arbeit umgesetzt hat. (Das Nähere über die Beziehung der mechanischen Arbeit zur Wärme siehe in dem Artikel Wärme, das mechanische Aequivalent derselben.)

Ueberall wo Kräfte in Bewegung sich befinden, da ist auch Arbeit, will man nun den Werth mehrerer Arbeitsquellen mit einander vergleichen, so muß man die Zeit zu Hülfe nehmen, indem man die Arbeitsquanta vergleicht, die in gleichen Zeiten hervorgebracht werden. Die Fähigkeit nun, ein gewisses Arbeitsquantum in bestimmter Zeit hervorzubringen, heißt Arbeitskraft, und als Einheit gilt die sogenannte Pferdekraft. Unter einer Pferdekraft versteht man nun die Fähigkeit, 510 Fußpfund Arbeit in der Secunde hervorzubringen (75 Kilogrammmeter in 1 Secunde). Eine andere, aber weniger gebräuchliche Einheit für die Arbeitskraft ist die Dynamie oder Dynamide, unter der alsdann die Fähigkeit verstanden wird, eine Arbeit von 1000 Kilogrammmeter in der Secunde auszuüben.

Ueberblicken wir zum Schluß noch einmal die drei Begriffe: Kraft, Arbeit und Arbeitskraft, so ergiebt sich, daß Kraft ein einfacher Begriff ist, sie ist die Ursache der Bewegung und wird gemessen durch das Pfund als Krafteinheit; der Begriff Arbeit zerlegt sich in die beiden Elemente Kraft und Weg, sie ist die Anstrengung (Leistung, Wirkung) einer gewissen Kraft auf einem gewissen Wege; sie wird gemessen von dem Fußpfund als Arbeitseinheit; die sogenannte lebendige Kraft ist eine aufgesparte Arbeit; der Begriff Arbeitskraft aber zerlegt sich in die drei Elemente Kraft, Weg und Zeit, sie ist die Fähigkeit zu einer gewissen Arbeit in gewisser Zeit, ihre Einheit ist die Pferdekraft. W. S.

Meer, Weltmeer, Ocean, die See heißt die große Wassermasse, welche in stetigem Zusammenhange einen großen Theil der Erdoberfläche ausmacht und die großen Ländermassen sowohl, welche Festlande (lat. Continente) genannt werden, als auch die Inseln umgiebt. Aber nicht nur diese große Wassermasse als ein Ganzes wird so bezeichnet, sondern auch einzelne Theile derselben, welche durch die Begrenzung des Festlandes als abgesonderte Glieder aus dem Ganzen sich ausscheiden, oder wegen ihres besonderen Charakters eine Sonderung von den übrigen Theilen bedingen, werden mit diesem Namen belegt, sogar größere Theile dieser Abtheilungen haben wieder die Bezeichnung als Meere erhalten und selbst einzelne große Binnenseen, ungeachtet dieselben mit dem Weltmeere in gar keiner Verbindung stehen.

Der Hauptmeere zählt man fünf:

1) Das nördliche Eismeer oder der arktische Ocean oder das arktische Polarmeer von dem Nordpole bis $66^1/_2{}^0$ n. Br.
2) Der atlantische Ocean oder das atlantische Meer — so genannt nach dem Gebirge Atlas im Norden Afrikas — von $66^1/_2{}^0$ n. Br. bis $66^1/_2{}^0$ s. Br. zwischen Europa und Afrika einer und Amerika anderer Seits.
3) Der indische Ocean im Süden von Asien, im Osten von Afrika und im Westen und Süden von Australien bis $66^1/_2{}^0$ s. Br.
4) Der große oder stille Ocean zwischen Amerika und Asien von $66^1/_2{}^0$ n. Br. bis $66^1/_2{}^0$ s. Br. — still genannt, weil Magelhaens bei seiner Beschiffung dieses Meeres zufällig sehr ruhiges Wetter hatte.

5) Das südliche Eismeer oder der antarktische Ocean oder das antarktische Polarmeer von dem Südpole bis $66^1/_2{}^0$ s. Br.

Die größeren Meerarme, welche in Ländermassen hineinreichen, heißen mittelländische Meere; kleinere Einbiegungen des Meeres in das Land werden Meerbusen, Busen oder Bucht, Bai oder Golf, Haff, Hafen genannt. Meerarme, welche zwischen zwei Ländermassen hindurch gehen und größere Meere oder Meerestheile mit einander in Verbindung setzen, heißen: Meerenge, Straße, Canal, Sund. Da die Küste, d. h. das Ufer des Meeres — auch Strand und Gestade genannt — nirgends geradlinig fortgeht, sondern mit unzähligen größeren und kleineren Einbiegungen versehen ist, so giebt es eine unzählbare Menge von Busen, Buchten ꝛc., von denen viele, besonders die durch Größe und durch Bequemlichkeit für die Schifffahrt ausgezeichneten, eigene Namen haben.

Das Meer nimmt den größten Theil der Erdoberfläche ein, und zwar ungefähr zwei Dritttheile, während nur etwa ein Drittheil auf das feste Land kommt *).

1) Meeresspiegel. Da es ein allgemeines hydrostatisches Gesetz ist, daß eine Flüssigkeit an ihrer Oberfläche stets einen horizontalen Stand anzunehmen strebt, und da alle Meere unter einander in Verbindung stehen, so folgt hieraus, daß die Oberfläche des Meeres (der Meeresspiegel) auch überall dieselbe Höhe haben müßte. Unter dieser Voraussetzung pflegt man daher alle Höhenmessungen auf der Erde als Erhebungen über die Meeresfläche zu bestimmen **). Indessen da die Erde ein um seine Axe rotirender Körper ist, so folgt schon hieraus, daß nicht alle Punkte der ruhigen Meeresoberfläche gleich weit von dem Mittelpunkte der Erde abstehen können ***), und außerdem machen auch diejenigen Meere größtentheils eine Ausnahme, welche vom Lande in ihrer größten Ausdehnung eingeschlossen sind und mit der übrigen Wassermasse des Meeres nur durch enge Kanäle in Verbindung stehen.

Das rothe Meer, welches sich fast von Süd nach Nord vom 13 bis 30° n. Br., also über mehr als 250 geogr. Meilen, erstreckt, steht an der Straße Bab-el-Mandeb höher als in dem Busen von Suez, und zwar soll vom Mai bis October der Höhenunterschied zwei Fuß betragen. Es erklärt sich dieser Niveauunterschied aus der in jener Zeit vorherrschenden nördlichen Windrichtung und der zur selben Zeit auftretenden großen Hitze, durch welche das aus dem arabischen Meere kommende, das rothe Meer speisende, Wasser auf seinem Wege von Süden nach Norden eine starke Verdunstung und mithin eine quantitative Verminderung erleidet. Beweise hierfür werden wir noch bei Besprechung des Meereswassers (s. Nr. 3. dieses Artikels) beibringen.

Die Ostsee steht bei Kiel mindestens 1 Fuß höher als die Nordsee an der Mündung der Eider ****), wie sich durch ein Nivellement ergeben hat. Dafür spricht auch die vom Sunde und den Belten in das Kattegat gehende Strömung

*) Vergl. Art. Erde. Bd. II. S. 914.

) Vergl. Art. Höhe eines Punktes **über einer Ebene. Bd. III. S. 806, aber auch Art. Höhenmessung, barometrische ebenda. S. 825 und 826.

***) Vergl. Art. Erde. Bd. II. S. 890.

****) Woltmann in Pogg. Ann. Bd. II. S. 444.

ſelbſt bei nördlichen Winden, woraus zwiſchen dem bothniſchen Meerbuſen bei Torneâ und dem Kattegat eine Niveaudifferenz von wenigſtens 5 Fuß ſich ergeben würde. Als Grund nimmt man an, daß auf der Oſtſee nicht ſo viel Waſſer verdunſtet, als durch die flußreichen Küſten hineingeführt wird.

Eben ſo ſteht das ſchwarze Meer höher als das Marmara-Meer, wofür die ſtarke Strömung in der Straße von Conſtantinopel, in dem Bosporus, ſpricht, und da die Strömung in dem Helleſpont wiederum einen höheren Stand des Marmara-Meeres gegen den griechiſchen Archipelagus erweiſt, ſo muß zwiſchen dem ſchwarzen Meere und dem mittelländiſchen Meere ein bedeutender Unterſchied im Niveau ſein.

Das mittelländiſche Meer, welches verhältnißmäßig wenig große Flüſſe aufnimmt, ſteht ebenfalls niedriger als der atlantiſche Ocean, wie die von Weſten nach Oſten gerichtete Strömung in der Straße von Gibraltar erweiſt. Desgleichen ſoll dies Meer einen niedrigeren Stand haben als das rothe Meer, zu Zeiten um $30^1/_2$ Par.Fuß. Nach Lepère liegt der Spiegel bei Alexandrien 8,1 Meter unter dem Ebbeſtande und 9,9 Meter unter dem Fluthſtande des rothen Meeres; doch hat man ſpäter einen Rechnungsfehler entdeckt und den Unterſchied auf 9 Fuß herabgeſetzt. Bei Perpignan ſteht das mittelländiſche Meer 2,7 Fuß niedriger als die Nordſee bei Dünkirchen, und zwiſchen Perpignan und Bayonne ſoll der Niveauunterſchied ſogar 5,14 Fuß betragen. (?) Die geodätiſchen Operationen von Coraboeuf und Delcros ergeben gar keinen bemerkbaren Unterſchied *).

Daß an den weſtlichen Küſten die Meere einen höheren Stand haben müſſen, als an den öſtlichen, iſt eine Folge von der in der Richtung von Weſt nach Oſt gehenden Arendrehung der Erde. Hiernach muß das atlantiſche Meer an der Oſtküſte Amerikas höher ſtehen, als der ſtille Ocean an der Weſtküſte; eben ſo muß es an den Küſten Afrikas zwiſchen dem Niveau des indiſchen und atlantiſchen Meeres ſein. Nach einem geodätiſchen Nivellement durch Lloyd und Falmare in den Jahren 1828 und 1829 liegt die Südſee höchſtens 3,4 Fuß — nach Poggendorff's Bemerkung aber nur 0,17 Fuß — höher als das antilliſche Meer **). A. v. Humboldt hatte aus Barometermeſſungen auf einen Unterſchied von nicht über 3 Meter (9 F. 3 Z.) geſchloſſen. Im Allgemeinen ſpricht ſich Letzterer ***) dahin aus, daß die Oberfläche aller mit einander zuſammenhangenden Meere hinſichtlich ihrer mittleren Höhe als vollkommen im Niveau ſtehend betrachtet werden müſſe, und daß nur örtliche Urſachen permanente Verſchiedenheiten hervorbringen können.

Einige Naturforſcher haben angenommen, daß das Meer in einer fortwährenden Abnahme begriffen ſei. Da durch die Flüſſe ununterbrochen eine große Menge Sand und Erde in das Meer geſchwemmt werden, ſo ſollte die Oberfläche deſſelben, wie es ſcheint, vielmehr erhöht als erniedrigt werden, während dennoch nicht jenes, ſondern vielmehr dieſes durch die Erfahrung beſtätigt zu werden ſcheint. Es iſt bekannt, daß eine große Anzahl von Städten, welche ehemals an der Küſte lagen, gegenwärtig in bedeutenden Entfernungen von ihr abſtehen. Im Jahre

*) Humboldt's Kosmos. Bd. I. S. 324.
**) Pogg. Ann. Bd. XX. S. 131.
***) a. a. O., vergl. auch Anmerkung S. 476.

1513 haben die Portugiesen die Stadt Mochha an der Küste des rothen Meeres angelegt, welche jetzt eine große Strecke davon entfernt liegt. Nach einer alten Volkssage soll Culm früher nahe am Meere gelegen haben. In dem Hafen Hith in Großbritannien weidet jetzt das Vieh. Aiguemortes hatte 1248 einen berühmten Hafen und liegt jetzt eine Stunde vom Meere entfernt. Dasselbe gilt von Ravenna und Adria. Pius V. ließ bei der Mündung der Tiber am Meeresufer einen Thurm bauen, welcher nach 145 Jahren gegen 1000 Fuß vom Meere entfernt war. Eben so hatte man auf ein Sinken des Meeresniveaus geschlossen und zwar in 36 Jahren im Betrage von 17 Zoll aus Erscheinungen an der schwedischen Küste. Felsen, welche ehedem unter oder nahe an der Meeresoberfläche sich befanden, ragen jetzt hoch über dieselbe hervor. Bereits im Art. Geologie *) ist darauf hingewiesen, daß hier eine allmälige Hebung des Landes durch vulkanische Kräfte, aber kein Sinken des Meeresniveaus vorliegt. Hier wollen wir nur noch aufnehmen, daß nach Playfair **) auch eine Erhöhung der schottischen Küste unverkennbar ist, und daß nach Reinwardt ***) die Molucken gegenwärtig höher über die Meeresoberfläche hervorragen als früher. Unwahrscheinlich scheint das, allerdings durch Beobachtungen gestützte, Resultat Latrobe's ****), daß der Küstendistrict von Newyork früher einen wenigstens 120 Fuß betragenden höheren Wasserspiegel gehabt habe. Auch Otaheiti wird gewöhnlich hier angeführt, indem daselbst ein jetzt freier Fußsteig an der Küste früher (1767) auch beim niedrigsten Wasserstande unter Wasser war *****), so wie man auch die Koralleninseln nicht vergißt, die über das Meer emporragen, während die Korallen doch nur bis an die Oberfläche bauen. Es scheint am zweckmäßigsten, hier auf A. v. Humboldt zu verweisen †), der selbst ††) aus zuverlässigen Kennzeichen schloß, daß das Meer bei den Inseln St. Barthelemy, St. Martin, St. Thomas u. a. gegen 360 Fuß höher gewesen sei.

Folgt aus dem Vorstehenden noch keine Abnahme des Meeres, da die größer werdende Entfernung des Meeres von der Küste auch eine andere und zwar wahrscheinlichere Erklärung zuläßt, so bleiben andererseits noch die Erscheinungen für die Prüfung übrig, welche für eine Erhebung oder Zunahme des Meeres sprechen könnten.

Nach der Erzählung von Angelo Zendrini †††) wurden auf der venetianischen Insel St. George große Ausgrabungen gemacht, um den Port-Franc anzulegen. Einige Fuß unter dem Meere fand man eingerammte Pfähle nebst einer steinernen Treppe, von welcher 5 Stufen ausgegraben wurden. Nicht weit davon fand man gebrannte Steine mit dem Namen des Verfertigers, und zwar beweisen die Buchstaben ein höheres Alter als das der Römer. Hiernach scheinen die Lagunen schon in den ältesten Zeiten bewohnt, und der Spiegel des Meeres

*) Bd. III. S. 526; vergl. auch Art. Erdbeben. Bd. II. S. 867.
**) Explication sur la Théorie de la Terre de Hutton. p. 355.
***) Pogg. Ann. Bd. II. S. 444.
****) Transact. of the Amer. Phil. Soc. T. VI. Philadelph. 1809; vergl. Monatl. Corresp. Bd. XXVI. S. 241.
*****) v. Zach, Corresp. astron. T. X. p. 266.
†) Kosmos. Bd. I. S. 312 und Anmerkung S. 472 u. 473.
††) Journ. de Phys. T. LXX. p. 129.
†††) Comment. Bonon. T. II. p. 237.

damals niedriger gewesen zu sein. Breislak*) beobachtete in Toscana und Ligurien am Mittelmeere ähnliche Erscheinungen, namentlich bei Neapel. Einige Fußböden des Tempels, welchen Tiberius auf Capräa bauen ließ, stehen gegenwärtig unter Wasser. Gerade in Italien kommen ähnliche Erscheinungen vielfach vor; jedoch scheinen hier vulkanische Kräfte im Spiel gewesen zu sein, wie solches bereits im Art. Geologie**) bei den Säulen des Serapis-Tempels bemerkt worden ist. — In Holland deuten die jährlichen Vergrößerungen einiger Meeresbuchten, namentlich des leidener, des spieringer, des alten und des früheren harlemer Meeres, welche 1531 bis 1591 jährlich 96,5 Morgen, von 1591 bis 1647 jährlich 30 Morgen, von 1647 bis 1687 jährlich 25,2 Morgen, 1687 bis 1740 jährlich 26 Morgen betrugen, auf ein allmäliges Wachsen des Meeresspiegels, wenn man nicht lieber dies als ein gewaltsames Eindringen des Meeres ansehen will. — In der Ostsee hat Catteau-Calleville***) bemerkbar gemacht, daß die Sandbank, welche bei der Einfahrt in den Hafen von Swinemünde liegt, ehemals eine mit der Insel Usedom zusammenhängende Landzunge war. Kostspielige Ausbesserungen und Anstrengungen zum Schutze der Küste sind heute noch nöthig. Die Insel Ruden ist jetzt sehr klein und von allen Seiten mit Sandbänken und Untiefen umgeben, während sie früher einen ansehnlichen Flächeninhalt einnahm, mehrere große Dörfer und einen Hafen hatte. Im Anfange des 14. Jahrhunderts rissen die Fluthen die Landenge weg, welche Ruden mit der, einen Theil der Insel Rügen ausmachenden, Halbinsel Mönkguth verband, und hierdurch entstand ein beinahe zwei Stunden im Umfange haltender Sumpf, welcher jetzt das Neue Tief heißt. Auch auf der Insel Zingst und der Halbinsel Darz, auf der Grenze zwischen Pommern und Mecklenburg, haben ähnliche Veränderungen scheinbar durch das Anwachsen des Meeres stattgehabt. — Das indische Meer scheint gleichfalls an einzelnen Punkten vorgerückt zu sein. An den Küsten von Hindostan stehen mehrere Pagoden aus dem Alterthume jetzt unter Wasser. Die Insel Ceylon soll nach einer unter den Urbewohnern derselben erhaltenen Sage einst durch einen Meeresbruch vom festen Lande abgerissen worden sein; eben so die Insel Sumetra von Malacca. — Für eine Zunahme des atlantischen Meeres an den östlichen Küsten von Amerika hat man mehrfache Beweise aufgestellt. In den Vereinigten Staaten am Vorgebirge May beim Ausflusse des Delaware befindet sich, um wenigstens einen Beleg beizubringen, ein Haus, an dessen Wänden folgende Bemerkungen verzeichnet sind: Im Jahre 1804 war die Entfernung des Meeres vom Hause 334 Fuß, 1806 nur noch 324 Fuß, 1807 nur 294 F., 1808 nur 273 F., 1809 nur 267 F., 1811 nur 259 F., 1812 nur 254 F., 1816 nur 225 F., 1817 nur 214 F., 1818 nur 204 F., 1819 nur 188 F., 1820 nur noch 180 Fuß. Das atlantische Meer wäre also an diesem Theile der nordamerikanischen Küste binnen 16 Jahren um 154 Fuß vorgerückt.

Es ließen sich noch eine Menge von Veränderungen aufführen, doch scheint man berechtigt zu sein, aus allen den Schluß zu ziehen, daß im Allgemeinen weder

*) Instit. Geolog. T. I. p. 67.
**) Bd. III. S. 526.
***) Gemälde der Ostsee in physischer, geograph., histor. und merkant. Rücksicht. Uebers. von Weyland. Weimar 1815.

eine Abnahme, noch eine Zunahme des Meeres ſtattfindet, da die für das Eine oder das Andere beigebrachten Thatſachen ſich entweder durch die Wirkung vulkaniſcher Kräfte (vergl. Art. Geologie), oder durch gewaltſame Zerſtörungen durch die andringenden Waſſerwogen erklären laſſen. An einigen Orten werden Anſchwemmungen ſtattfinden und es wird den Anſchein haben, als ſei das Meer geſunken; an anderen werden Wegſchwemmungen ein ſcheinbares Sinken des Meeres erzeugen. Die einzige Thatſache, welche für eine Veränderung des Meeresniveaus und zwar für eine Abnahme deſſelben eine gewiſſe beweiſende Kraft hat, ſcheint nach unſerer Anſicht von den Koralleninſeln hergenommen werden zu können, da andernfalls doch bei allen eine Hebung angenommen werden müßte, was bei der großen Anzahl dieſer Inſeln und ihrer Vertheilung über die verſchiedenſten Meere eine allgemeine Hebung des Meeresbodens bedingen würde *).

Es handelt ſich hier natürlich um den mittleren Stand des Meeresſpiegels, da an demſelben Orte der Waſſerſtand unverkennbar Schwankungen unterworfen iſt. In dieſer Beziehung hat bereits 1806 Schulten **) einen Zuſammenhang mit dem Luftdruck in dem Stande der Oſtſee nachgewieſen, in der Art, daß der Meeresſpiegel ſteigt, wenn der Luftdruck abnimmt und umgekehrt, und Dauſſy hat 1836 zu Lorient an der Weſtküſte Frankreichs dieſen Zuſammenhang beſtätigt gefunden. Iſt p der Barometerſtand und N das Niveau des Meeres, ſo ergiebt ſich nach Letzterem ***)

$$N = 2^m,823 - 15,5\,(p - 0^m,76).$$

Auch Chazalon ****) hat Beobachtungen und theoretiſche Entwickelungen über die Schwankungen des mittleren Meeresniveaus mitgetheilt; und J. C. Roß *****) hat Beobachtungen angeſtellt über den Einfluß des Luftdrucks auf das Niveau im Hintergrunde eisbedeckter Buchten. Der Gegenſtand erſcheint noch keineswegs erſchöpft.

Der Meeresſpiegel ſcheint ſich, wenn man das Meer von der Küſte aus betrachtet, gegen den Horizont zu heben und bergan zu ſteigen. Es bedarf wohl kaum der Bemerkung, daß dies blos eine Geſichtstäuſchung iſt.

2) Meerestiefe. Betrachten wir die feſte Erdmaſſe, ſo erſcheint uns dieſelbe an ihrer Oberfläche als eine ſehr unebene, mit größeren und kleineren Vertiefungen und Erhöhungen verſehene Maſſe. Wo nun auch das Waſſer an ihr auftreten mag, immer wird ſich daſſelbe gemäß ſeiner beweglichen Natur von den höheren nach den niederen Orten zu begeben ſuchen und an den tiefſtliegenden endlich zu größeren Maſſen ſich anſammeln. Hiernach erſcheint der Grund des Meeres als Fortſetzung der feſten Erdoberfläche und zwar als der tiefſtliegende, dem Mittelpunkte der Erde am nächſten liegende Theil. Schon hieraus können wir ſchließen, daß auch der Meeresgrund, ſo wie die Oberfläche des feſten Landes mit mannichfaltigen Erhöhungen — gleichſam einzelnen Bergen und ganzen Ge-

*) Am wichtigſten in Betreff der Verhältniſſe des Korallengebietes auf der Erdoberfläche iſt wohl die Arbeit von Ch. Darwin in Geolog. Soc. 1837, Mai 31; Lond. Edinb. phil. Magaz. 1837. T. XI. p. 307—309.

**) Gilbert's Ann. Bd. XXXVI. S. 314.

***) Pogg. Ann. Bd. XL. S. 138.

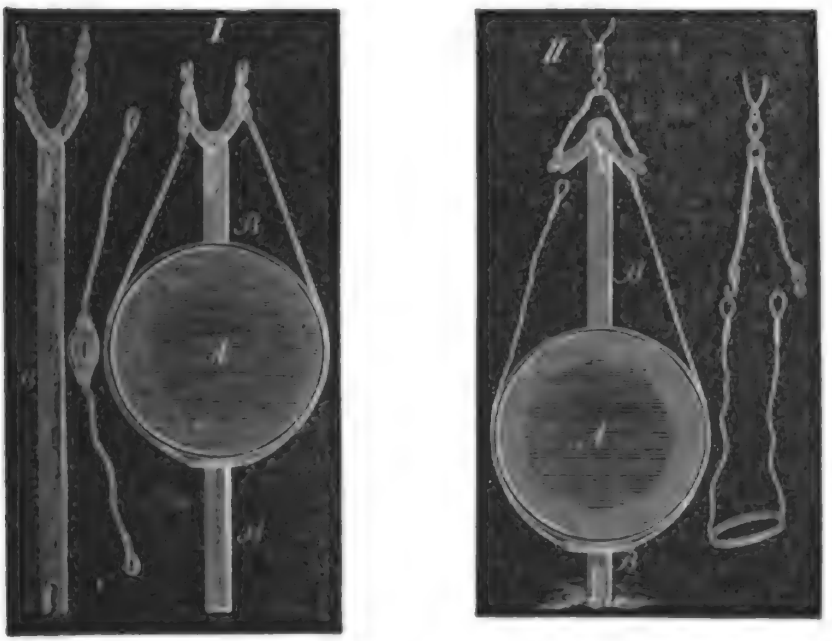
****) Compt. rend. T. XXXIX. p. 111.

*****) Institt. 1835. p. 109. Phil. Magaz. (4) T. VIII. p. 318.

birgen — ausgeſtattet ſein werde. Wir finden die Beſtätigung hiervon in den durch beſtimmte Meſſungen nachgewieſenen verſchiedenen Tiefen, welche das Meer an verſchiedenen Orten hat, und in den Erhebungen des Meeresgrundes, welche als Inſeln über die Oberfläche deſſelben ſich in größerer oder geringerer Ausdehnung erſtrecken, oder als Klippen in einzelnen felſigen Hervorragungen emportreten.

Zur Meſſung der Tiefe des Meeres bedient man ſich gewöhnlich des Senkbleies, der Sonde und ähnlicher Inſtrumente, welche im Allgemeinen Bathometer genannt werden und in dem Artikel dieſes Namens (Bd. I. S. 748) beſchrieben ſind. Wir müſſen indeſſen hier eine Ergänzung dieſes Artikels aufnehmen, nämlich Brooke's Apparat zum Sondiren großer Meerestiefen, der ſich äußerſt zweckmäßig erwieſen hat, um Stoffe vom Grunde der tiefen See emporzubringen *).

In beiſtehenden Figuren iſt A eine Kanonenkugel, die mitten durchbohrt iſt, ſo daß der Stab B hindurchgeſteckt werden kann. Fig. I. ſtellt den Stab und den ganzen Apparat dar vor der Berührung des Grundes; Fig. II. in dem Augen-



blicke, wo er auf den Grund ſtoßt, und veranſchaulicht zugleich, wie ſich die Kugel löſt und wie Stoffe als Proben des Grundes emporgebracht werden, indem ſie an ein wenig Seife oder Talg in der Höhlung am unteren Ende der Stange B ankleben. Eine nähere Beſchreibung der einzelnen Theile erſcheint bei der Einfachheit der ganzen Zuſammenſetzung nicht nöthig, zumal die detaillirten Abbildungen die klarſte Anſchauung geben.

In der Nähe der Küſten ſind die Tiefmeſſungen (Peilungen) wegen der

*) Maury, die phyſiſche Geographie des Meeres. Deutſch von Böttger. Leipzig 1856. S. 197.

den Schiffen drohenden Gefahren von der allergrößten Wichtigkeit. Auf den Seekarten findet man die Resultate verzeichnet. Was uns hier noch besonders interessirt, das ist die Tiefe des Meeres im sogenannten blauen Wasser.

Eine gewöhnliche Ansicht ist, daß die Tiefe der See den Höhen der Berge ungefähr gleich sei; es fehlt indessen dieser Ansicht jede feste Basis. Durch Versuche ein zuverlässiges Resultat zu gewinnen, hatte große Schwierigkeiten. Am einfachsten scheint es zu sein, eine Kanonenkugel an einem hinreichend langen Faden hinabzulassen und die Länge des Fadens zu bestimmen, sobald die Kugel den Boden des Meeres berührt. Es ist jedoch schwer, den Augenblick dieses Auffallens der Kugel zu bestimmen. Man glaubte, die Leine würde nicht mehr ablaufen, sobald dieser Moment eingetreten sei; indessen sie lief in einem fort in Folge von Strömungen und Gegenströmungen, die im Ocean nicht blos neben, sondern auch über einander vorhanden sind. Auf diese Weise angestellte Messungen bieten mithin durchaus keine Zuverlässigkeit. Sicherer ist die Methode, welche Maury (a. a. O. S. 196) angiebt. Bedient man sich immer einer Schnur von derselben Stärke und Arbeit und eines schweren Körpers (30pfündige Kanonenkugel) von derselben Gestalt und demselben Gewichte, so ergiebt sich ein Gesetz für den Fall des Körpers im Wasser. Es wurden folgende Resultate erhalten:

2 m	21 s	als mittlere Fallzeit von		400	bis	500	Faden
3 „	26 „	„	„	1000	„	1100	„
4 „	29 „	„	„	1800	„	1900	„

Es folgt hieraus, daß der einsinkende Körper die ersten 100 Faden am schnellsten (etwa in $1^1/_2$ Minuten) zurücklegt, daß aber die Zeiten von 100 zu 100 Faden nicht gleichmäßig abnehmen, sondern nach und nach immer kleinere Differenzen bilden. Man kann jedoch nun angeben, wann die Kugel die Schnur nach sich zu ziehen aufhört, und von welchem Moment an die letztere nur in Folge der Strömung und des Treibens weiter abgewickelt wird; denn Strömungen können sie von 100 zu 100 Faden nur gleichmäßig und eher noch durch das zunehmende Gewicht der abgewickelten Schnur mit etwas beschleunigter Geschwindigkeit abwickeln, während sie die im Falle fortwährend verzögerte Kugel umgekehrt immer langsamer nach sich zieht.

Es erklärt sich aus dem Vorstehenden, daß man in vielen Fällen, weil man das letztere Gesetz nicht beachtete, in ganz bedeutenden Tiefen noch keinen festen Boden gefunden zu haben glaubte. So führte Maury (a. a. O. S. 194) Messungen dieser Art von 34000, 39000, 46000 und 50000 Fuß Tiefe an. Nach denselben befinden sich die größten Tiefen, in welchen der Seegrund mit dem Senkblei erreicht worden ist, im atlantischen Ocean und gehen nicht über 25000 F. hinaus. Die tiefste Region scheint zwischen dem 35 und 40° n. Br. und zwar unmittelbar südlich von den großen Brücken von Neufundland zu liegen. Capitain Ringgold will jedoch im stillen Meere bei 8000 Faden, also 48000 Fuß, Grund gefunden haben, desgleichen Capitain Denham*) in dem südlichen atlantischen Ocean unter 36° 49′ s. Br. und 37° 6′ östl. L. bei 43467 Fuß oder 13643 Meter, und James Roß fand die größte Tiefe gleich 8412 Meter. Hätte die Erde kein Wasser wie der Mond, so würde der Hintschinginga auf dem

*) Instit. 1853. p. 53. Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 493.

Himalaya, der sich 27359,63 Fuß über den Meeresspiegel erhebt, eine Höhe von 70827 Fuß über dem von Capitain Denham gefundenen Punkte der Erdrinde haben.

Die ersten Messungen von wissenschaftlichem Werthe über die Meerestiefe sind die von Maury, der dieselben im Auftrage des nordamerikanischen Congresses ausführte. Auf einer Karte (a. a. O. Taf. IX.) hat er seine Resultate zusammengestellt, die sich auf den nördlichen Theil des atlantischen Oceans bis zu 10° s. Br. beziehen. Wir erwähnen hier nur, daß der merikanische Meerbusen höchstens eine Tiefe von einer engl. Meile = 5280 Fuß hat, — 30 geogr. Meilen nördlich vom Nordrande der Halbinsel Yucatan wurde mit 104 Faden Grund gefunden — daß das caraibische Meer tiefer ist, namentlich bei der Landenge von Panama über 2000 Faden Tiefe hat, ferner daß sich auf dem Meeresgrunde zwischen Cap Race in Neufundland und Cap Clear in Irland das neuerdings sogenannte Telegraphen-Plateau befindet, auf welchem die Tiefe wahrscheinlich nirgends mehr als 10000 Fuß beträgt.

Die Binnenmeere haben in der Regel eine weit geringere Tiefe, als der offene Ocean. Nach Zeune *) würde man trocknen Fußes von der pommerschen Küste nach Schweden und Finnland gelangen können, wenn der Wasserstand sich um 300 Fuß verringerte. Die gewöhnliche Tiefe in der Mitte der Ostsee ist 30 bis 40 Faden, und nur zwischen der Insel Gotland und Windau vertieft sich der Boden auf 140 Faden; im bothnischen Meerbusen sind die tiefsten Stellen gegen die Mündung 67 bis 100 Faden; endlich im finnischen Meerbusen, ebenfalls an der Mündung, 70 Faden.

Die Nordsee hat ganz die Natur eines Meerbusens, im Hintergrunde — in der Straße von Calais — am seichtesten und an der Mündung — nach Norden — immer tiefer werdend. Die Straße von Calais hat an der tiefsten Stelle nur 26 Faden und erscheint wie eine Seebrücke zwischen England und Frankreich. Die vielen Bänke der Nordsee, unter denen die Doggersbank und die Langbank sich auszeichnen, deuten schon auf einen nicht tiefen Seeboden, welcher jedoch nach Westen zwischen der Bank und Großbritannien sich mehr einsenkt, als gegen Osten zwischen derselben Bank und Dänemark. So ist die größte Tiefe zwischen Tynemouth bei Newcastle und der Bank 45 Faden, dagegen zwischen der Bank und der dänischen Insel Sylt nur 28 Faden, während sie in der Mitte der Bank selbst nur 17 Faden beträgt. Bei einem noch nördlicheren Durchschnitte zwischen Edinburgh und der dänischen Insel Holmland ist die größte Tiefe ebenfalls an der britischen Seite, nämlich 50 Faden, dagegen an der dänischen nur 40 und auf der Bank selbst 30. Weiter nördlich senkt sich der Boden des Meeres tiefer, wendet sich aber nun nach der Ostseite zu der steilen Küste Norwegens hin. Zwischen dem Vorgebirge Tarbatneß bei Inverneß in Nordschottland und dem Kattegat ist die Tiefe in der Mitte 50 Faden, etwas gen Westen 60 und gen Osten 90, und zwischen Lerwick an dem Sunde der Shetländischen Insel Brassa und der Stadt Bergen in Norwegen beträgt die Tiefe in der Mitte 90, gegen Westen nur 80, gegen Osten aber bis 140 Faden.

Auch im Englischen Kanal wie in der Nordsee nimmt die Tiefe mit der Entfernung von der Straße von Calais zu, so daß bis 7° W. von Paris in

*) Berghaus, allgem. Länder- und Völkerkunde. 1837. Bd. I. S. 408.

der Linie von Isle de Bas, in der Bretagne, nach der Klippe von Eddyſtone ſie nirgend über 50 Faden beträgt und erſt weſtlicher in der Mitte zwiſchen der Südweſtſpitze von Irland und der Nordweſtſpitze von Spanien, 12° W. v. Paris, bis 100 Faden abfällt. Aber ungefähr in 14° W. nimmt die Tiefe plötzlich zu, ſo daß unter 51° n. Br. im Weſten von Süd-Irland bei 333 Faden, und im 61° Br. im Weſten der ſüdlichen Faröer bei 222 Faden kein Grund zu finden war.

Der Iriſche Kanal iſt weit tiefer als der Engliſche Kanal. An ſeiner Südſeite zwiſchen Werford in Irland und Pembroke in Wales beträgt die Tiefe in der Mitte 50 bis 70 Faden; etwas nördlicher, wo ſich das Meer erweitert, wird es flacher, zwiſchen 40 und 60, erreicht aber zwiſchen Dublin und Angleſey eine Tiefe von 60 bis 80 Faden. Im Oſten der Inſel Man iſt die größte Tiefe nur 25 Faden, im Weſten dagegen bis 55. An der engſten Stelle jenes Meeres zwiſchen der Grafſchaft Antrim in Irland und der Grafſchaft Wigton in Schottland erreicht die Tiefe bis 100 Faden, nördlich davon nimmt ſie ab bis 60 und wächſt nur nordweſtlich zwiſchen der nördlichen Küſte von Irland und der ſchottiſchen Inſel Ila auf einer kleinen Strecke bis zu 90; von da weſtlich wird es wieder etwas flacher.

Die Meere im Süden Europas ſind tiefer, als die im Norden. In den joniſchen Inſeln hat man bei 300, im Südoſten von Sardinien beim Vorgebirge Carbonara bei 500 und im Nordweſten dieſer Inſel unfern des Vorgebirges Aſtnara bei 800 Faden keinen Grund gehabt. Unfern Gibraltar im Süden der Sierra Nevada hat man nach de la Beche bei 980 Faden Sand- und Muſchelgrund gefunden. Der weſtliche Theil des Mittelmeeres ſcheint tiefer zu ſein als der öſtliche; beide Becken werden durch eine Seebrücke von einander geſchieden. Dieſer Gürtel heißt Skerki und geht vom Vorgebirge Trapani in Sicilien erſt weſtwärts, dann ſüdwärts bis zum Vorgebirge Bon bei Tunis. Die Tiefe dieſer Seeſchwelle wechſelt von 7 bis 90 Faden und fällt nach dem weſtlichen Becken tiefer als nach dem öſtlichen; wenn nach jenem hin bei 100 bis 200 Faden noch kein Grund gefunden wurde, iſt ſchon bei 80 und 90 Faden nach dem öſtlichen Becken hin Grund erreicht worden. Mit jener Seebrücke hängt in der Nähe Siciliens die Adventure-Bank zuſammen, welche ſich ſüdlich bis zur Inſel Pantellaria hinzieht. Die Südſpitze dieſer Bank hat an einer Stelle 72 bis 76 Faden Tiefe, wo gleich am ſüdlichen Abfall der Bank bei 375 noch kein Grund gefunden worden iſt. Die größte Tiefe der Meerenge von Meſſina iſt unweit dieſer Stadt 97 Faden.

Das ſchwarze Meer hat nach den unzuverläſſigen ruſſiſchen Seekarten in der Nähe von Sebaſtopol eine Tiefe bis 548 Faden, im Weſten des Kaukaſus bei Anapa bis 420 Faden. An der Nordküſte Kleinaſiens hat Gauttier bei 200 Faden noch keinen Grund gefunden. Zwiſchen den Donaumündungen und der Weſtſeite der Krimm nimmt die Tiefe ab — Telegraph von Balaklava nach Varna; — öſtlich von den Donaumündungen, 10 geogr. Meilen vom Lande, iſt die Tiefe 52 und eben ſo weit ſüdlich von Odeſſa beträgt ſie nur 30 Faden.

Das Aſowſche Meer hat an der Mündung der Meerenge bei Jeni-Kale bis 39 Faden Tiefe, die ſich in der Mitte bis auf 47 vermehrt; aber in der Bucht nach Aſow bis auf 4 Faden und bei Taganrog bis auf 3 Faden ſich verflacht.

Im rothen Meere und im perſiſchen Meerbuſen beträgt die größte Tiefe 50 Faden. Das ſüd-chineſiſche Meer zwiſchen der ſüdlichen Küſte von Cochinchina und Cambodja einerſeits und den Sunda-Inſeln andererſeits iſt ſo flach, daß wohl nirgends 50 Faden Tiefe erreicht wird. Im nord-chineſiſchen Meere findet man in einem Abſtande von 30 geogr. Meilen vom nächſten Lande bei 68 und 84 Faden Seegrund.

Wir bemerken hier noch, daß man eine Erhöhung des Meeresbodens, welche ſeichte Stellen (Untiefen) verurſacht, eine Bank nennt. Beſteht der Grund der Bank aus Sand, ſo heißt ſie eine Sandbank. Von dieſer ſtehen einige feſt und haben alſo wahrſcheinlich ein Gerippe von feſtem Geſtein, andere dagegen ſind veränderlich, werden daher vom Meere angeſchwemmt und weggeſchwemmt. Sandbänke, die ſich längs den Küſten eines Landes über die Meeresfläche hervorragend hinziehen, heißen Dünen, namentlich an den Küſten Großbritanniens und der Niederlande. Aehnlich ſind die Nehrungen an der preuß. Küſte. Aus dieſen Dünen bildet ſich allmälig feſtes Land, wenn das Meer mit Anſchwemmungen fortfährt, und daher kommt es, daß — wie bereits oben angeführt iſt — jetzt viele Städte, welche früher in der Nähe des Meeres ſich befanden, beträchtlich weit von demſelben entfernt ſind. — Die Korallenbänke und Korallenfelſen ſitzen auf dem Meeresgrunde feſt und wachſen von dieſem empor. Auch mögen ſich die Korallen an ſchon vorhandenen Felſen anſetzen. Sie erheben ſich nur bis an die Oberfläche des Meeres und breiten ſich dann ſeitwärts aus. Oft bilden ſich aus dieſen Korallenbänken förmliche Inſeln, auf denen mit der Zeit durch die Verwitterung und Verweſung mineraliſcher, vegetabiliſcher und animaliſcher Theile fruchtbarer Boden entſteht. — Die Auſternbänke ſind Felſen, an denen ſich Auſtern angeſetzt haben. — Riffe heißen an der Küſte ſich hinziehende Reihen von Felſen und Klippen. In der Oſtſee faſſen die Klippen einen Theil der ſchwediſchen Küſte ein, und heißen hier Scheeren.

3) Meerwaſſer (Salzgehalt, Beſtandtheile, ſpecifiſches Gewicht, Gefrieren, Temperatur, Zuſammendrückbarkeit, Farbe, Durchſichtigkeit, Leuchten.) Von den Gewäſſern der Landſeen und der Flüſſe unterſcheidet ſich das Meerwaſſer durch ſeinen beſonderen Geſchmack, welcher ein Zeichen eigenthümlicher chemiſcher Miſchung deſſelben iſt. Ein weſentlicher Beſtandtheil iſt das Kochſalz (Chlornatrium). Da bei Erwärmung das Waſſer verdampft, und zwar um ſo ſtärker, je größer die Erhitzung iſt, ſo ſollte man vermuthen, daß in der heißen Zone das Meer wegen der fortwährend ſtattfindenden ſtarken Verdunſtung einen ſtärkeren Salzgehalt hat, als weiter gegen die Pole zu. Der Einfluß der ſtärkeren Erwärmung in den Tropen wird aber durch den der Kälte in den Polargegenden aufgehoben, weil beim Gefrieren des Meerwaſſers das Salz ausgeſchieden wird *), und überdies durch die Strömungen und ſonſtigen ununterbrochenen Bewegungen des Meeres eine fortwährende Vermiſchung und Ausgleichung ſtattfindet. Dennoch ſind die einzelnen Meere, namentlich die mittelländiſchen an Salzgehalt verſchieden, eine Erſcheinung, die ſich aus localen Urſachen erklären läßt. So ſammelte Morris Proben von Waſſer aus dem rothen Meere auf dem ganzen Wege von Suez bis zur Straße

*) Art. Eis. Bd. II. S. 609 und 610.

Bab-el-Mandeb und die Unterſuchung des Dr. Giraud*) ergab folgende Reſultate:

	Breite-grade	Längen-grade	Spec. Gewicht	Salzgehalt pro Mille
Nr. 1. bei Suez . . .			1,027	41,0
" 2. im Golf v. Suez .	27,49	33,44	26	40,0
" 3. im rothen Meere .	24,29	36,00	24	39,2
" 4. ebenda. . . .	20,55	38,18	26	40,5
" 5. "	20,43	40,03	24	39,8
" 6. "	14,34	42,43	24	39,9
" 7. "	12,39	44,45	23	39,2

Das Waſſer des rothen Meeres an der Oberfläche iſt alſo immer ſalziger und ſpecifiſch ſchwerer, je weiter es von der Mündung entfernt iſt, offenbar weil auf dem Wege von der Straße Bab-el-Mandeb bis zum Golf von Suez ein großer Theil des aus dem indiſchen Oceane eindringenden Waſſers verdunſtet (ſ. S. 980).

Von dem Mittelmeere iſt bereits oben bemerkt, daß die einmündenden Ströme den Verluſt an verdampftem Waſſer nicht ganz erſetzen. Es müßte folglich das Bett dieſes Meeres ſchon längſt eine feſte Salzmaſſe ſein, wenn nicht in der Straße von Gibraltar eine untere Strömung, auf die wir noch bei den Meeresſtrömungen näher eingehen werden, das von dem atlantiſchen Oceane hineingeführte Salz dieſem zurückgäbe und ſo das Gleichgewicht im Salzgehalte herbeiführte. Ein ähnliches Verhältniß findet bei dem rothen Meere ſtatt, indem eine untere Strömung alles Salz, welches durch die obere in das Meer gelangt, eben ſo ſchnell wieder entfernt. Wäre dies nicht der Fall, ſo müßte dies Meer in 3000 Jahren zu einer feſten Salzmaſſe geworden ſein.

Das ſchwarze Meer hat einen ſchwächeren Salzgeſchmack als der offene Ocean; eben ſo iſt es mit der Oſtſee, der Nordſee, dem ochozkiſchen Meere, dem chineſiſchen Meere. Der Einfluß der Küſten und des von ihnen einſtrömenden Waſſers iſt natürlich überall ſehr merkbar. Deshalb findet man nicht nur an den Mündungen großer Flüſſe, z. B. an dem Rio de la Plata, ſondern überhaupt in der Nähe der Küſte in der Regel einen geringeren Salzgehalt, bei den Flußmündungen oft meilenweit in das Meer hinein noch ſüßes Waſſer. Auch macht die Zeit der Ebbe und Fluth an den Küſten einen Unterſchied.

Im Allgemeinen beträgt der mittlere Salzgehalt $3^1/_2$ Procent. Ueber das Verhältniß an der Oberfläche und in der Tiefe ſind die Reſultate noch ſehr verſchieden. Nach einigen Angaben **) findet kein Unterſchied ſtatt, nach anderen iſt der Salzgehalt im Allgemeinen unten größer ***). In dem atlantiſchen Oceane ſoll der Salzgehalt im Weſten größer ſein als im Oſten; desgleichen größer als in der Südſee ****).

*) Verhandlungen der geogr. Geſellſchaft zu Bombay. IX. Mai 1849 bis Aug. 1850.
**) Pogg. Ann. Bd. XX. S. 108.
***) Pogg. Ann. Bd. XXXVII. S. 461.
****) Pogg. Ann. Bd. XX. S. 122 und 130; S. 129.

Schwieriger als die Bestimmung des Salzgehaltes, auf welchen man im Allgemeinen aus dem specifischen Gewichte schließt, ist die der Bestandtheile des Meerwassers im Speciellen. Wir nehmen hier einige Resultate auf, die zugleich als Belege für das Vorhergehende und Folgende mit dienen mögen.

v. Bonsdorff *) findet in 100 Theilen Meerwasser 3,896 Theile salzige Bestandtheile und 0,107 Th. Gyps mit Krystallwasser oder 0,085 Th. im wasserfreien Zustande.

Versuche mit einem von Biot **) angegebenen Apparate, um Wasser mit der in demselben enthaltenen Luft aus der Tiefe des Meeres zu schöpfen, haben folgende Resultate geliefert ***).

Zeit und Ort	Tiefe. Faden	Dichte bei 8 bis 10°	Salz in 100 Wasser	Gas in 100 Vol. Wasser bei 0° und 760mm	Zusammensetzung des Gases in 100 Vol.		
					Sauerstoff	Stickstoff	Kohlensäure (?)
1836. Aug. 30. Südsee	0	1,02391	3,429	2,09	6,16	83,33	10,51
11° 8′ N. 108° 30′ W.	70	1,02702	3,328	2,23	10,09	71,03	18,06
1837. März 19. Golf v. Bengalen	0	1,02545	3,218	1,98	5,53	80,50	13,97
11° 43′ N. 87° 18′ O.	200	1,02663	3,491	3,04	3,29	38,56	58,15
1837. Mai 10. Golf v. Bengalen	0	1,02611	3,378	1,91	6,34	80,34	13,32
18° 0′ N. 83° 32′ O.	300	1,02586	3,484	2,43	5,72	64,13	30,13
1837. Juli 31. Indischer Ocean	0	1,02577	3,669	1,85	9,84	77,70	12,46
24° 5′ S. 52° 0′ O.	450	1,02739	3,519	2,75	9,85	55,23	31,92
1837. Aug. 24. Atlant. Ocean	0	ging verloren					
30° 40′ S. 11° 47′ O.	400	1,02708	3,573	2,04	4,17	67,01	28,82

Hiernach nimmt die Dichte mit der Tiefe zu, eben so der Salzgehalt und Luftgehalt. Der Kohlensäuregehalt, von dem dasselbe zu gelten scheint, ist — wie überhaupt wohl die Gasanalyse — zweifelhaft, indem die Frage aufgeworfen werden kann, ob die Kohlensäure im Wasser fertig gebildet war, oder ob sie von der Zersetzung durchsichtiger Theilchen herrührte. Im letzteren Falle würde die Luft aus der Tiefe bedeutend mehr Sauerstoff enthalten haben, als die an der Oberfläche.

Gay-Lussac und Despretz ****) erhielten folgende Resultate:

Breite	Länge	Spec. Gewicht	Salzgehalt	Breite	Länge	Spec. Gewicht	Salzgehalt
Calais		1,0278	3,48	0° 0′ S.	23° 0′	1,0283	3,67
35° N.	17° W.	1,0290	3,67	5 2′,2	22 36	1,0289	3,68
31 50′	23° 53′	1,0294	3,63	8 1	5 16	1,0286	3,70
29 4	25 1		3,66	12 59	26 56	1,0294	3,76
21 0	28 25	1,0288	3,75	15 3	24 8	1,0284	3,57
9 59	19 50	1,0272	3,48	17 1	28 4	1,0291	3,71
6 0	19 55	1,0278	3,77	20 21	37 5	1,0297	3,75
3 2	21 20	1,0275	3,57	23 55	43 4	1,0293	3,61

*) Pogg. Ann. Bd. XL. S. 133. **) Pogg. Ann. Bd. XXXVII. S. 161.
***) Pogg. Ann. Bd. XLV. S. 561.
****) Ann. de Chim. et de Phys. T. VI. p. 428.

Hieraus ſchließt Gay-Luſſac, daß der Salzgehalt bei Calais ſein Minimum erreicht habe, daß er in einer Breite von 35° bis 32° N. zunehme, gegen den Aequator hin aber abnehme und in der ſüdlichen Hemiſphäre wieder ſteige.

Es herrſcht jedenfalls in Betreff des Salzgehaltes des Meereswaſſers noch eine gewiſſe Unſicherheit. Daſſelbe gilt von der Dichte. A. v. Humboldt *) findet für eine Temperaturdifferenz von 15 bis 20° C. wenig oder gar keinen Unterſchied hinſichtlich des ſpecifiſchen Gewichtes. Marcet **) behauptet, daß die Dichte ſüdlich vom Aequator größer ſei, als nördlich von demſelben. Nach Lenz ***) hat an einigen Stellen das Waſſer an der Oberfläche, an anderen in großer Tiefe das größte ſpecifiſche Gewicht. Mulder ****) findet folgende Reſultate:

Breite	Länge	Spec. Gewicht	Breite	Länge	Spec. Gewicht
S. 20° 41′	O. 86° 30′	1,02705	N. 0° 39′	W. 22° 42′	1,02759
23 46	80 3	1,02711	23 44	37 53	1,02891
35 10	28 7	1,02814	40 54	23 38	1,02724
35 42	22 17	1,02750	46 2	19 30	1,03780
35 0	19 50	1,02718	49 6	5 54	1,02711
23 21	3 32	1,02801	50 25	1 0	1,02711
15 55	W. 5 45	1,02827	Nordſee		1,02551

Das Reſultat von der Nordſee ſpricht, wie es ſcheint, für den Einfluß der in dieſelbe mündenden Flüſſe.

Durch eine zweite Unterſuchung erhielt Mulder *****) Folgendes:

Breite	Länge Greenwich	Spec. Gewicht	Breite	Länge Greenwich	Spec. Gewicht
S. 20° 49′	O. 82° 58′	1,0276	N. 23° 19′	W. 38° 57′	1,0282
23 51	77 43	1,0278	40 40	27 34	1,0276
34 0	26 28	1,0277	46 15	17 20	1,0277
35 55	20 59	1,0273	48 15	10 22	1,0273
23 21	W. 0 45	1,0273	49 24	6 0	1,0269
15 55	5 45	1,0277	50 27	0 48	1,0265
N. 0 57	24 4	1,0274	Nordſee		1,0237

Nach einer Analyſe von A. und H. Strecker †) enthielt das Meerwaſſer eines Fjords bei Sandefjord, deſſen ſpec. Gew. 1,0114 war, folgende Beſtandtheile:

Chlornatrium	10,9115	Schwefelſ. Kali	0,3908	Kohlenſ. Eiſenoxydul	0,0194
Chlormagneſium	1,4934	„ Kalk	0,6449	Thonerde	0,0033
Brommagneſium	0,0338	„ Magneſia	0,4812	Kieſelerde	0,0134

in Summa 13,9917 Theile.

*) Relat. historique. T. I. p. 74.
**) Phil. Transact. 1822. Ann. de Chim. et de Phys. T. XII. p. 295.
***) Pogg. Ann. Bd. XX. S. 73. Bibl. univ. T. XLVI. p. 358.
****) Natuur en Scheikundig Archief. 1835. 2. Stuck. Pogg. Ann. Bd. XXXIX. S. 512.
*****) Pogg. Ann. Bd. XL. S. 498.
†) Ann. Ch. Pharm. T. XCV. p. 177. Das chem. Labor. d. Univerſ. Chriſtiania 1854. S. 67.

Nach Vogel *) enthalten 1000 Theile Meerwaſſer folgende feſte Beſtandtheile:

	Atlantiſches Meer	Mittelländ. Meer	An der engl. Küſte
Chlornatrium	25,10	25,10	24,90
Salzſaure Bittererde . . .	3,50	5,25	3,54
Schwefelſaure Bittererde . .	5,78	6,25	0,81
Schwefelſaurer Kalk . . .	0,15	0,15	0,97
Kohlenſ. Kalk und Bittererde .	0,20	0,15	—
Schwefelſ. Natron	—	—	1,03

Nach Webſter **) enthält das Seewaſſer an der nordamerikaniſchen Küſte in einer Pinte:

Schwefelſäure 16,1; Kalk 2,4; Magneſia 13,6; Natron 95;
Salzſäure 96,8 Grains und eine Spur Eiſen.

Nach Balard ***) enthält das Seewaſſer auch etwas Brom.

Daraus, daß in der Kruſte eines mit Meerwaſſer geſpeiſten Dampfkeſſels von Daubrée ****) ein Millionſtel Arſenik gefunden wurde, könnte man auf einen Arſenikgehalt des Meerwaſſers ſchließen; eben ſo iſt in dem Meerwaſſer Silber, Blei und Kupfer nachgewieſen worden *****).

Wegen des Verhaltens des Meerwaſſers beim Gefrieren iſt zu vergleichen Art. Eis Bd. II. S. 609 ff; wegen der Temperatur des Meeres Art. Erde Bd. II. S. 922 ff. In Betreff der Zuſammendrückbarkeit hat Aimé †) Verſuche angeſtellt und gefunden, daß dieſelbe bei 12°,6 C. für eine Atmoſphäre = 0,0000413 iſt, während ſie für ſüßes Waſſer 0,0000502 beträgt.

Die Farbe des Meerwaſſers wird ſehr verſchieden geſchildert. Scoresby vergleicht die allgemeine Farbe des Polarmeeres mit Ultramarin; der Franzoſe Coſtaz (Cotace?) die des mittelländiſchen Meeres mit einer vollkommen durchſichtigen Auflöſung des ſchönſten Indigo; Capitain Tuckey bezeichnet die Wellen des atlantiſchen Meeres in den Aequinoctialgegenden als glänzendes Azur. Wir fügen hier gleich einige Angaben bei über die Farbe des ſüßen Waſſers. H. Davy giebt lichtblau an als die Farbe, welche das aus geſchmolzenem Schnee und Eis entſtandene Waſſer zurückſpiegelt; Hugi ſagt über die Alpengletſcher, daß die Farbe kleiner einzelner Stücke eines Gletſchers entſchieden weiß und klar ſei, daß ſie aber bei Betrachtung einer größeren Maſſe blau werde und zwar ſtufenweis immer blauer, je mehr die Maſſe an Umfang zunehme, bis zuletzt das tiefſte Himmelblau auftrete.

*) Ann. de Chim. T. VI. p. 63. · Schweigg. Journ. Bd. VIII. S. 357.
**) Boston. Journ. 1824. Jun. p. 96.
***) Pogg. Ann Bd. VIII. S. 114.
****) Compt. rend. T. XXXII. p. 827. Pogg. Ann. Bd. LXXXIV. S. 302.
*****) Pogg. Ann. Bd. LXXIX. S. 480.
†) Pogg. Ann. Ergzb. II. (LXXII. b) S. 240. Ann. de Chim. et de Phys. Ser. III. T. VIII. p. 257.

Es unterliegt wohl keinem Zweifel mehr, daß dem Meerwaſſer wirklich eine eigenthümliche Farbe zukommt, d. h. daß es das auffallende Licht in einem beſtimmten Verhältniſſe reflectirt (vergl. Art. Farbe Bd. III. S. 40), wenn gleich dieſe Farbe erſt beim Anblicke großer Maſſen, alſo vorzugsweiſe im offenen Meere hervortritt. A. v. Humboldt ſpricht ſich ebenfalls dafür aus und fand, daß man ein ſehr ſchönes Ultramarin erblickt, wenn man, um die ſeitwärts auffallenden Sonnenſtrahlen abzuhalten, das Meer durch eine enge Oeffnung oder eine Röhre fernhin betrachtet. Nach demſelben iſt das Meer der Tropen von einem ſtärkeren und reineren Blau, als die Meere in hohen Breiten, vielleicht von dem im Meere ſich ſpiegelnden Himmel herrührend, wiewohl er bemerkt, daß der Himmel nicht immer einen Einfluß auf die Farbe ausübt, indem ſie ſich bei ganz heiterem Himmel und ohne daß man eine Veränderung in der Atmoſphäre bemerke, bedeutend ändere. Mitten in dem weiten Becken des tropiſchen Weltmeeres gehe das Waſſer vom Indigblau ins dunkelſte Grün und von dieſem ins Schiefergrün über, ohne daß man dieſe Veränderung dem Blau des Himmelsgewölbes oder der Farbe der Wolken zuſchreiben könne. Dagegen bleibe das Meer oft blau, wenn auch bei ſchönem Wetter mehr als $^4/_5$ des Himmels mit leichten, weißen und zerſtreuten Wolken bedeckt ſeien. Es hat hierauf Einfluß, ob die Oberfläche des Meeres ruhig oder mehr oder weniger bewegt iſt. Die ruhige Oberfläche erblickt man blau, und ſo iſt auch das Waſſer der Oſtſee bei hellem ruhigen Wetter entſchieden hellblau, auf der bewegten Oberfläche zeigt ſich die grünliche (meergrüne) Färbung. Humboldt äußert ſich über die wechſelnde Farbe des Meeres dahin: die Wellen, beweglichen und geneigten Spiegeln ähnlich, werfen fortſchreitend die Wolken und die Tinten der Luft vom Zenith bis zum Horizont zurück. Die Bewegung der Oberfläche des Waſſers verändert die Menge des Lichtes, welches gegen die unteren Schichten dringt, und man ſieht ein, daß dieſe ſchnelleren Veränderungen des Durchgangs der Lichtſtrahlen, die Farbe des Oceans verändern müſſen, wenn ſie ſich mit anderen uns noch unbekannten Urſachen vereinigen. Arago *) ſpricht ſich entſchieden für eine beſtimmte Farbe des Meeres aus, und bezeichnet dieſelbe als mehr oder weniger dunkles Himmelblau. Er ſagt: die reflectirte Farbe des Waſſers iſt blau, die durchgelaſſene, wie einige glauben, grün. Nun erklärt er das grüne Ausſehen des aufgeregten Meeres dadurch, daß die Wellen wie dreiſeitige Prismen wirken; ein Theil des von der zweiten Welle reflectirten Lichtes durchdringe die erſtere, dem Beobachter auf dem Verdeck eines Schiffes nähere, werde da von oben nach unten gebrochen, und ſo erhalte der Beobachter durchgelaſſenes, alſo gegrüntes Licht.

Bei ruhigem, durchſichtigem Waſſer wird die Farbe häufig von der Beſchaffenheit des Grundes beſtimmt. Arago hebt hervor, daß ein gelber, wenig reflectirender Sandboden eine grüne Farbe hervorbringt, weil das vom Boden reflectirte Licht mit dem natürlichen Lichte des Waſſers gemiſcht ins Auge gelangt. In der Bai von Loango iſt das Waſſer ſtark roth, weil nach Tuckey der Meeresboden ſehr roth iſt. Bei Vera Cruz im mexikaniſchen Meerbuſen hat das Meer eine weiße Farbe von den Kalkfelſen auf ſeinem Grunde, und bei den malediviſchen

*) Compt. rend. T. VII. p. 219. Pogg. Ann. Bd. XLV. S. 468.

Inſeln ſoll das Meer eine dunkle Farbe haben von den Steinkohlenbänken (?) auf ſeinem Grunde.

Oft treten eigenthümliche Färbungen auf, die bedingt ſind durch beſondere Vorkommniſſe in dem Waſſer, und da man dieſe in vielen Fällen hat nachweiſen können, ſo iſt auch in anderen Fällen, wo keine conſtante Färbung auftrat, ein Gleiches anzunehmen.

Als Des Pages auf der Höhe von Spitzbergen im nördlichen Eismeere war, fand er das Waſſer in verſchiedenen Gegenden von Strecke zu Strecke ſchwarz, an Stellen, wo man keinen Grund entdeckte. Er erfuhr ſpäter, daß dieſe Farbe nur in den Monaten April und Mai wahrzunehmen ſei, und daß die nämlichen Stellen im Juli und Auguſt weiß erſcheinen. Thomas Smith fand 1768 auf ſeiner Reiſe nach Conſtantinopel das Waſſer in einer gewiſſen Gegend himmelblau, und wenn die Sonne darauf ſchien, purpurroth. Bladh ſah am 27. Juni 1772 bei Sumatra im oſtindiſchen Meere das Waſſer mit rothen Streifen und Flecken bedeckt. Das ausgeſchöpfte Waſſer im Glaſe war zwar hell, enthielt aber eine Menge lichtgrauen Schlammes, welcher aus feinen Fäden beſtand, und getrocknet ſchön cochenillroth wurde. Bladh vermuthete, daß dieſer Schlamm dem Waſſer während der Fluth beigemiſcht worden, wo es die Küſten bis zu einer anſehnlichen Höhe bedeckte. Eine ähnliche Erſcheinung beobachtete der nämliche Seefahrer auch in der Nähe der Küſten von China. Das Waſſer war weniger roth und jener Pflanzenſchlamm dünner darauf geſäet, aber feiner zertheilt. Auch ſpäter bei Madagascar und dem Vorgebirge der guten Hoffnung zeigten ſich dergleichen rothe Stellen und Streifen des Meeres, welche gleichfalls von Pflanzentheilchen herzurühren ſchienen. — Sehr merkwürdig war eine Erſcheinung, welche James Prior am 4. April 1811 in dem indiſchen Ocean zwiſchen Madagascar und den Sechellen beobachtete. „Abends gegen 8 Uhr" — ſagt er — „wurde, ſo weit das Auge reichen konnte, das Meer faſt plötzlich wie Milch, oder beſſer einer dicken Auflöſung von Kalkwaſſer ähnlich. Die Oberfläche war ganz ſpiegelglatt; auch fand ſich dabei nicht die geringſte Spur jener leuchtenden oder phosphoriſchen Erſcheinung, die man oft zur Nachtzeit, wenn die See in Bewegung war, bemerkt hat. Dies dauerte mehrere Stunden fort; der Himmel war um die Zeit äußerſt heiter, und bei der Stille des Abends mußte dieſer Vorfall eine unbeſchreibliche Wirkung haben. Zugleich bemerke ich, daß nicht die geringſte Eigenheit im Waſſer, welches wir häufig heraufzogen und unterſuchten, wahrzunehmen war." James Prior bemerkte dieſe nämliche Erſcheinung einige Monate ſpäter, am 7. Auguſt, in der Nachbarſchaft der Nordweſtküſte von Neuholland. Hier zeigte ſich indeß etwas, das auf die Spur einer Erklärung des Räthſels leiten konnte. Das Waſſer, welches man auf das Schiff zog, enthielt eine kleine, kaum bemerkbare Menge eines feinen faſerigen Stoffes, der indeſſen völlig durchſichtig war. Prior bemerkt nun freilich, daß man dies überall ſehen könne, wo viel Meergras wächſt, vermuthet aber dennoch, daß eher dies, als irgend eine Eigenthümlichkeit der Atmoſphäre, der Grund jener Erſcheinung ſein möge: denn ungeachtet das Wetter daſſelbe geblieben, habe ſich doch die milchigte Farbe weiterhin nicht wieder eingeſtellt, und als Beweis, wie ungewöhnlich dieſe Erſcheinung ſei, führt er den Umſtand an, daß ſeine Leute (alſo engliſche Seefahrer!) darüber in große Beſorgniß gerathen ſeien. — Zuweilen iſt eine unzählbare Menge von einer gewiſſen Gattung kleiner Seekrebſe im Stande, der Ober-

fläche des Meeres ein rothes oder auch braunes Ansehen zu geben. Man hat dergleichen namentlich an den Küsten von Brasilien bemerkt, z. B. Genet im Jahre 1700 und neuerlich Otto v. Kotzebue, am 7. December 1815. „Wir bemerkten" — sagt dieser — „auf der Oberfläche der See einen schlangenförmigen Weg von dunkelbrauner Farbe, ungefähr ein Paar Faden breit, der sich so weit erstreckte, als das Auge reichte. Im ersten Augenblicke hielt ich diese Erscheinung für eine Untiefe; doch bei der Untersuchung fanden wir, daß dieser Weg durch eine unzählige Menge kleiner Krebse und den Samen einer Pflanze gebildet war, die sich, wie unsere Naturforscher behaupteten, auf dem Grunde des Meeres erzeugt." Eben so sah auch Byron, auf seiner Fahrt von Rio Janeiro nach Port Déstré, am 14. Nov. 1764 die See an einer Stelle so roth wie Blut, und die Ursache war gleichfalls eine unzählige Menge kleiner krebsähnlicher Schaalthiere. Auch Dampier schreibt die rothe Farbe des Meeres zwischen Cap Corrientes und den Sebaldsinseln, an der Südspitze von Amerika, kleinen Krebsen zu. Tremarec sah an den norwegischen Küsten das Meer von kleinen Fischen roth gefärbt. — Eine ähnliche Erscheinung wie Prior beobachtete Tuckey unfern Cap Palmes an der Küste von Guineg, indem sein Schiff in einer Milch zu schwimmen schien. Als Grund ergab sich eine Masse von Thierchen, welche auf der Oberfläche schwimmend die natürliche Farbe des Meeres versteckten. Die carminrothen Zonen im stillen Ocean, welche oft beobachtet worden sind, haben eine gleiche Ursache; indessen sollen sie nach C. Dareste*) von derselben Alge herrühren, welche Ehrenberg auch im rothen Meere gefunden hatte, nämlich von Trichodesmium erythraeum. — Im Polarmeere sind ausgedehnte und scharf abgeschnittene grüne Zonen, welche Myriaden von Medusen enthalten, deren gelbliche Farbe, gemischt mit dem Blau des Wassers, das Grün hervorbringt. — Nahe an der Mündung großer Flüsse hat das Meer oft eine braune Farbe in Folge des Schlammes und anderer darin schwebender Substanzen. — Das gelbe Meer bei China hat diesen Namen von seiner gelben Farbe, welche es von der ungeheuren Menge gelben Schlammes erhält, den ihm der gelbe Fluß (Hoang-ho) zuführt. Die Schiffe lassen hier, bei 6 Faden Tiefe, halbe Meilen weit hinter sich Spuren dieses gelben Schlammes in der Richtung ihrer Fahrt auf der Oberfläche des Wassers zurück. Alle Wirbel und Meeresströmungen werfen in diesem Meere bis zu den Chusaninseln hinab und bis Korea hinauf, gelben Schlamm selbst aus Tiefen von 600 bis 700 Fuß empor. Es läßt sich denken, daß die Menge dieses Schlammes hier ungeheuer sein müsse. Nach Barrow's Berechnung gießt der gelbe Fluß in jeder Stunde eine Masse von mehr als 418 Millionen Körperfuß (Kubikfuß) Wasser in das Meer. Wenn darunter auch nur $^1/_{200}$ Schlamm aufgelöst sein sollte, so würden stündlich 2 Millionen und folglich in einem Tage 48 Millionen Kubikfuß Schlamm dem Meere zugeführt. Bei Annahme einer mittleren Tiefe des gelben Meeres von 120 Fuß würde diese Masse innerhalb 70 Tagen darin eine Insel von einer englischen Flächenmeile aufzuhäufen im Stande sein. — Andere Meere, wie das rothe, das schwarze, das weiße u. haben diese Benennungen nicht von besondern Farben ihres Wassers, sondern aus anderen Ursachen erhalten. Das rothe Meer erscheint zwar an mehreren Stellen roth, welches von dem Widerscheine der Korallenklippen herrührt, aber

*) Instit. 1854. p. 82.

eben ſo viele andere Stellen erſcheinen auch grün und weißlicht, von dem Schlamm, mit dem ſie überzogen ſind ꝛc. Lobo ſchreibt die rothe Farbe einzelner Stellen des rothen Meeres einer Gattung von Meerpflanzen zu, und behauptet, daß die Farbe ſeines Waſſers an ſich ſelbſt von der Farbe des Weltmeeres nicht unterſchieden ſei. Das ſchwarze Meer ſoll ſeinen Namen von ehemaligen Umwohnern, welche ſchwarze Kleidung trugen, erhalten haben.

Das Meerwaſſer hat an manchen Orten einen ſehr großen Grad von Durchſichtigkeit, z. B. bei den weſtindiſchen Inſeln. In einem Boote hat man daher den herrlichſten Anblick, indem man ſich über einer anſcheinend kryſtallhellen Flüſſigkeit befindet, und auf dem weißen Sande des Bodens jede Kleinigkeit ſehr deutlich wahrnimmt, als Seeigel, Gewürme, Schnecken ꝛc., ganze Waldungen Seepflanzen, Gorgonien, Korallen und Alcyonien, welche wegen der Refraction ſo nahe zu ſein ſcheinen, daß man bei einer Entfernung von 6 bis 24 Fuß dieſelben mit der Hand ergreifen möchte. Ja, man ſieht nach Horsburgh*) dort den Meeresboden noch deutlich in einer Tiefe von 15 bis 20 Faden, wenn er aus vielfarbigen Korallen, oder aus Sande mit Korallen vermiſcht beſteht. In verſchiedenen Theilen der indiſchen Meere unterſcheidet man den Grund ſelbſt noch tiefer, z. B. bei Mindora die gefleckten Korallen in 20 Faden Tiefe. Hieraus iſt es erklärlich, daß wegen nicht zu ſtarker Abſorption des Lichtes durch das Waſſer die converen Linſengläſer der Taucherglocken in 25 Fuß Tiefe noch als Brennlinſen wirken. Eigends auf dem Schiffe Coquille angeſtellte Verſuche über die Durchſichtigkeit des Meerwaſſers beſtanden darin, daß man ein weißes Bret in horizontaler Lage herabſenkte, und die Tiefe maß, bei welcher es unſichtbar wurde. Dieſes fand ſtatt bei der Inſel Waigion in 59 Fuß Tiefe und bei ganz heiterem Himmel in 75,3 Fuß; bei Port Jackſon in 38,3 Fuß; bei Neuſeeland in 35 F.; bei Aſcenſion zwiſchen 28 und 36 F. Tiefe.

Zu den merkwürdigſten und intereſſanteſten Naturerſcheinungen gehört das ſehr oft beobachtete Leuchten des Meerwaſſers. Es rührt von verſchiedenen zum Theil noch ſehr ungewiſſen Urſachen her. Am häufigſten iſt die in den verſchiedenſten Meeresgegenden beobachtete Erſcheinung, daß, wenn ein Schiff bei der Nacht mit ſtarkem Winde fährt, die Spur, welche es im Waſſer hinter ſich zurückläßt, das Kielwaſſer, zuweilen einen hellen Glanz von ſich giebt, der ſich aber in der Regel nur den nächſten Wellen mittheilt, die ſich in ſchiefer Richtung gegen das Kielwaſſer brechen. Dies Leuchten wird beſonders durch den Nordwind begünſtigt, Südwinde und feuchte Witterung ſind ihm entgegen. Die Erſcheinung findet nur an der Oberfläche des Meeres und niemals tiefer als das Schiff geht, ſtatt. In der Oſtſee kommt ſie zu allen Jahreszeiten und namentlich in den Meerengen und Meerbuſen vor. Es deutet dieſelbe auf folgendes veränderliches, trübes und ſtürmiſches Wetter und den Fiſchern iſt ſie Zeichen eines guten Fiſchfanges.

Von anderer Art iſt ein Leuchten des Meerwaſſers, welches nur in wärmeren Himmelsſtrichen vorkommt, bei Windſtille, heißem Wetter und kleinem Wellenſchlage. Dann ſcheint die ganze Oberfläche des Meeres ſo weit das Auge reicht in Brand zu ſtehen, und dieſer Glanz iſt in der Nähe der Schiffe und anderer bewegten Gegenſtände noch erhöht, und zwar um ſo ſtärker, je gleichförmiger die

*) Gilbert's Ann. Bd. XXXIV. S. 51. Journ. of the Roy. Instit. N. XLIII. p. 224.

Bewegung des Waſſers iſt. Wenn man eine Tonne mit ſolchem leuchtenden Waſſer füllt, ſo wird es allmälig dunkler wie das Schwanken aufhört, leuchtet aber bei jeder ſtarken Erſchütterung von Neuem. Bewegt man es mit dem Finger, ſo ſcheint an dieſem das Licht einige Augenblicke zu haften, verſchwindet aber zuletzt gänzlich. Nach Parrot iſt indeß dieſer letztere Zuſtand des Leuchtens nur ein durch die höhere Temperatur geſteigerter wie der vorerwähnte.

Bei einer dritten Art des Leuchtens iſt das Meer nicht nur an ſeiner Oberfläche, ſondern auch in der Tiefe leuchtend, ſo daß man des Nachts im Waſſer andere Gegenſtände erblickt, welche zugleich ſelbſt leuchten. Wenn man von dieſem Waſſer in ein Gefäß ſchöpft, ſo ſieht man, in der Nähe betrachtet, daß der Glanz von unzähligen, unter ſich nicht zuſammenhängenden Punkten ausgeht, welche ſich unter dem Mikroſkope als kleine Thierchen darſtellen. Wenn man das leuchtende Waſſer durch Löſchpapier ſeiht, ſo verliert es ſeinen Glanz, indem die leuchtenden Thierchen an dem Papiere hängen bleiben, und nun dieſes leuchtend machen. Forſter giebt eine nähere Beſchreibung dieſes Phänomens, welches er 1772 in der Nähe des Caps der guten Hoffnung beobachtete. „Kaum war es dunkel geworden" ſagt er, „ſo ſchien die See gleichſam überall in vollem Feuer zu ſtehen; jede Welle, die ſich brach, hatte einen leuchtenden Saum, und wo das Schiff die See berührte, zeigten ſich Streifen von phosphoriſchem Lichte. So weit das Auge in die Ferne reichte, ſtellte ſich uns überall dieſelbe Erſcheinung dar, und ſelbſt die Abgründe des unermeßlichen Oceans ſchienen mit Licht geſchwängert. Große leuchtende Körper, die wir aus der Geſtalt für Fiſche erkannten, ſchwammen um uns her. Einige näherten ſich dem Schiffe und hielten denſelben Strich, andere entfernten ſich ſeitwärts, ſchnell wie Blitze; zuweilen näherten ſie ſich unter einander, und traf ſichs, daß ein kleiner einem großen zu nahe kam, ſo kehrte jener eilends zurück, und ſuchte auf alle Art zu entkommen. Ich ließ einen Eimer voll dieſes leuchtenden Waſſers zur näheren Unterſuchung heraufziehen, und fand darin unzählige, ganz kleine leuchtende Kügelchen, welche ſich unglaublich ſchnell bewegten. Nachdem das Waſſer eine Zeitlang ruhig geſtanden hatte, ſchien die Zahl der leuchtenden Körperchen merklich verringert. Kaum aber rührte oder bewegte man wieder das Waſſer, ſo ward es wieder hell, und die kleinen Funken fuhren darin ſehr lebhaft in allerlei Richtungen umher, auch ſelbſt nachdem es wieder allmälig ſtill geworden war. Wir hatten den Eimer, vermittelſt eines Stricks, von der Decke herabhängen laſſen, um die Bewegung des Schiffes zu vermeiden und das Waſſer recht ruhig werden zu laſſen; demungeachtet bewegten ſich dieſe Lichtſtäubchen hin und her, ſo daß man von ihrer willkürlichen Bewegung überzeugt ward. Das Funkeln verſtärkte ſich aber, ſo oft man in dem Eimer mit der Hand oder mit einem Stecken rührte. Im erſten Falle blieb zuweilen ein ſolches phosphoriſches Fünkchen am Finger ſitzen; kaum war es ſo groß als der kleinſte Nadelkopf. Das geringſte Vergrößerungsglas gab die kugelförmige Geſtalt und etwas bräunliche Farbe dieſer gallertartigen, durchſichtigen Pünktchen zu erkennen. Unter dem Mikroſkop entdeckte man eine ſehr feine Röhre, welche von einer runden Mündung an der Haut ins Fleiſch, oder in das Innere dieſes kugelrunden Geſchöpfs ging. Das Eingeweide beſtand aus vier bis fünf ganz kleinen Säcken, welche mit der obenbenannten Röhre in Verbindung zu ſtehen ſchienen. Das ſtärkſte Vergrößerungsglas zeigte nicht mehreres, ſondern obiges nur noch deutlicher. Ich wünſchte nun noch eines dieſer Pünktchen in einem Waſſertropfen

unter das Mikroſkop zu bringen; allein ich konnte kein lebendiges mehr bekommen; ehe ich ſie mit dem Finger ablöſen konnte, ſtarben ſie wegen ihrer äußerſt zarten Struktur.“ Die Beobachtungen Forſter's ſind von anderen Naturforſchern beſtätigt worden, nur haben einige andere Thierchen als Urſache des Leuchtens entdeckt.

Die erſte dieſer drei von Forſter unterſchiedenen Arten des Leuchtens hat man vielfach als ein elektriſches Phänomen angeſehen, hervorgebracht durch die Reibung des Schiffes am Waſſer. Buffon ſtellte in dieſer Beziehung eigene Verſuche an. Er goß Meerwaſſer in ein Gefäß, und bemerkte, daß unter allen Körpern, deren er ſich bediente, um eine Reibung hervorzubringen, Metalle die meiſten Funken verurſachten. Thieriſche Körper wirkten weniger als Eiſen, aber mehr als Holz; das Glas brachte faſt keine Wirkung hervor. Sobald er das Meerwaſſer mit einer Degenklinge in Bewegung ſetzte, ſo glänzte es plötzlich von einer großen Menge rother Funken, welche aus der Klinge herauszuſchießen ſchienen und mit einander verſchwanden. Dieſes Funkenſprühen ward indeß bei länger fortgeſetztem Reiben des Waſſers allmälig geringer und verſchwand zuletzt. Ließ aber Buffon das Waſſer einige Zeit ruhen, und fuhr nun von neuem mit der Klinge hinein, ſo ließen ſich wieder Funken ſehen, aber nicht mehr ſo zahlreich und glänzend, als da das Waſſer friſch aus dem Meere gekommen war.

Le Roy leitet die zweite Art des Leuchtens von einem öligten phosphorartigen, flüſſigen Stoff ab, welcher ſich über die Oberfläche des Waſſers verbreite, und bei Berührung mit der atmoſphäriſchen Luft ſich entzünde. Dieſer Stoff ſoll ein Product der verweſenden Seethiere im Waſſer ſein, und die Sonnenhitze ſoll dieſe Verweſung befördern. Canton und Forſter ſtellten eigene Verſuche in dieſer Beziehung an, indem ſie mehrere Arten Fiſche in Seewaſſer und mit Salz verſetztes Süßwaſſer legten und ſie darin in Fäulniß übergehen ließen. Wurde nun das Waſſer umgerührt, ſo ward es leuchtend, bei einem Heringe z. B. in der dritten Nacht ſo ſtark, daß man die Stellung der Zeiger einer Uhr dabei erkennen konnte. Große Wärme beförderte die Fäulniß und das Leuchten. (Ueber das Leuchten in Verweſung übergehender Seethiere ſ. d. Art. Licht Bd. IV. S. 510.) Parrot beſtreitet dieſe Erklärung und leitet beide, die erſte und zweite, Arten des Leuchtens des Meerwaſſers von gephosphortem Waſſerſtoffgas ab, welches ſich aus den faulenden Thieren erzeugen ſoll, und ſich nur unter günſtigen Umſtänden, bei einer hinreichenden Menge der entwickelnden Körper und bei Aufregung des Waſſers in ſo großer Menge an die Oberfläche des Waſſers erhebt, daß es ſich hier bei ſeiner Entzündung an der Luft dem Auge als Feuererſcheinung bemerklich macht.

Daß die dritte Art des Leuchtens von lebenden Thieren herrührt, darüber iſt jetzt kein Zweifel mehr. Wir verweiſen deshalb nochmals auf Art. Licht S. 507 und wegen der leuchtenden Seethiere beſonders auf S. 509 und 510. Hier wollen wir nur noch bemerken, daß Ehrenberg bereits 101 verſchiedene Species leuchtender Infuſorien unterſcheidet, und daß Verhaeghe, Badearzt zu Oſtende, in einer Brochüre: Du flux et du reflux de la mer die noctiluca miliaris (Ehrenberg's Mammaria scintillans), welche die Größe eines kleinen Stecknadelkopfes hat, als die Hauptträgerin der Phosphorescenz in der Nordſee aufführt. Wenn das Meerwaſſer gefriert und nachher wieder aufthaut, oder wenn man aufgethautes Eis des Meeres unterſucht, ſo iſt keine Spur leuchtender Infu-

sorien in demselben mehr zu entdecken, wenn auch sonst an den betreffenden Stellen dieselben zu finden waren. Die ersten schwachen Lichterscheinungen zeigt die Nordsee im April, und je mehr mit der wärmeren Jahreszeit die Zahl der Thierchen zunimmt, desto stärker leuchtet auch das Seewasser.

Am 20. Mai 1778 war das Leuchten im Hafen von Havre besonders großartig. Die Thierchen machten durch ihre große Menge bei Tage das Wasser trübe und bedeckten es wie mit einer dicken Oelschicht. Als man Abends 10 Uhr Wasser schöpfte und in ein anderes Gefäß goß, erschien es wie ein Feuerstrom. Als etwas auf ein Brett gegossen wurde, blieb es 3 Minuten lang funkelnd und das vom Wasser ausgehende Licht soll so stark gewesen sein, daß man eine feine Schrift lesen konnte *).

Stehendes Meerwasser geht sehr bald in Fäulniß über wegen der in demselben aufgelösten thierischen und vegetabilischen Stoffe, wie namentlich daraus erhellt, daß beim künstlichen Seewasser, also Auflösungen von Salzen ohne jene Stoffe, eine Fäulniß nicht eintritt. Daß bei dem Meere selbst keine Fäulniß sich zeigt, hat jedenfalls seinen Grund in der Bewegung, in welcher sich dasselbe fortwährend befindet, und vielleicht auch in der geringen Quantität der in der großen Wassermenge enthaltenen organischen Stoffe.

4) Bewegungen des Meeres. (Ebbe und Fluth, Strömungen, Strudel, Wellen.) Die Bewegungen des Meeres sind theils regelmäßig, theils unregelmäßig. Eine der merkwürdigsten regelmäßigen Bewegungen ist die Ebbe und Fluth, worüber ein besonderer Artikel (Bd. II. S. 573 bis 583) handelt; ferner gehören hierher die Strömungen.

Denken wir uns die Erde einmal vollständig mit Wasser bedeckt, so versteht sich zunächst eine unmerkliche verticale Strömung des Meerwassers von selbst, indem die wärmeren Wassertheile als die leichteren emporsteigen, die kälteren als die schwereren herabsinken. Die Temperatur des Meeres nimmt daher — und dies ist eben ein Beweis für diese verticale Strömung — im Gegensatze zu der des Landes mit der Tiefe ab, in höheren Breiten bis auf — 3°,78 C. **). Ferner wird die stärkere Ausdünstung des Meeres in den Aequatorialgegenden ein Zuströmen des Wassers von Norden und Süden bewirken müssen, so daß auf der nördlichen Halbkugel — nach denselben Principien wie bei den Passatwinden (vergl. Art. Winde), nämlich in Folge der Axendrehung der Erde — eine Strömung aus Nordost, auf der südlichen Halbkugel aus Südost entsteht, welche in der Nähe des Aequators ganz in eine Strömung aus Osten übergeht, und unausgesetzt über den ganzen Aequatorgürtel fortdauern müßte. Es ist dieser Oststrom nichts anderes, als der von den Seeleuten sogenannte Weststrom, weil er nach Westen hin treibt. Die Holländer nennen diesen Strom die Dienung. Daß die Passatwinde, welche in derselben Richtung wehen, in welcher das Zuströmen zu dem Aequator erfolgt, diesen Strom noch verstärken, ist an sich einleuchtend; eben so wird derselbe unterstützt durch die Ebbe und Fluth; indem der Mond und — wenn auch in geringerem Grade — die Sonne bei ihrer scheinbaren Bewegung von Osten nach Westen um die Erde das Meerwasser hinter sich, also in der Richtung des Stromes herziehen.

---

*) Foissac, Meteorologie. Th. II.
**) Vergl. Art. Erde. Bd. II. S. 922 ff.

Durch das Festland in seiner verschiedenen Küstenbildung, eben so durch die Inseln und untermeerischen Gebirge wird der im Vorhergehenden abstract charakterisirte Weststrom in mannichfacher Weise abgeändert. Die normale Strömung kann nur entschieden auftreten in der Mitte des atlantischen Oceans zwischen Afrika und Amerika und im stillen Ocean, obgleich sie hier die vielen Inseln mannichfach stören. Wird der Weststrom durch irgend ein Hinderniß gezwungen eine nördliche oder südliche Richtung einzuschlagen, so wird er eben so wie die vom Aequator zurückkehrenden Passatwinde, auf der nördlichen Halbkugel mehr nach Nordost hin, auf der südlichen mehr nach Südost hin streben. Hierbei kann das warme Wasser desselben in hohe Breiten hinweggeführt werden, und somit ergiebt sich ein Einfluß auf das Klima, der von der allergrößten Wichtigkeit ist nicht blos bei Inseln, sondern bei ganzen Continenten. Das Wegströmen des Wassers vom Aequator, das Zuströmen andererseits nach dem Aequator bildet somit ein vollständiges Circulationssystem. Nehmen wir beispielsweise den nördlich vom Aequator liegenden Theil des atlantischen Oceans, so muß an Europas und Afrikas Westküste das Wasser nach dem Aequator hinströmen, hier nach Westen, an der amerikanischen Küste nördlich gerichtet sein, und in der Mitte dieses Kreislaufes müßte eine Stelle sein, um welche gewissermaßen, wie um einen Ruhepunkt, die Rotation erfolgt. Steht damit die Erfahrung im Einklange? — Allerdings; denn die Sargasso-See ist dieses Centrum.

Die Sargasso-See liegt mitten im atlantischen Oceane in dem dreieckigen Raume zwischen den Azoren, den canarischen und capverdischen Inseln. Sie bedeckt eine dem Mississippi-Thale an Ausdehnung gleichkommende Fläche und ist so dicht mit Fucus natans — oft wie mit einer Matte — bedeckt, daß die Bewegung der sie passirenden Schiffe oft sehr verzögert wird. Als die Gefährten des Columbus sie sahen, glaubten sie, daß sie die Grenzen des schiffbaren Meeres bezeichneten und geriethen in große Besorgniß. Dem Auge erscheint sie in einiger Entfernung fest genug, um darauf zu geben. Columbus fand zuerst diese Tangwiesen, wie sie Oviedo nennt, auf seiner Entdeckungsreise und dort sind sie bis auf den heutigen Tag geblieben, und gewisse in Bezug auf ihre Grenzen angestellte Beobachtungen, die sich bis auf 50 Jahre zurückerstrecken, geben uns die Gewißheit, daß ihre Stelle bis auf den heutigen Tag immer noch dieselbe ist. Gewiß ein deutliches Anzeigen einer Kreisbewegung *). Eben so hat sich aus den aufgefundenen Flaschen, die man mit Angabe der Zeit und des Ortes in das Meer zu werfen pflegt, ergeben, daß die Gewässer von jeder Gegend des atlantischen Oceans sich dem Golfe von Mexico und seiner Strömung zu bewegen **). So wie im nördlichen Theile des atlantischen Oceans die Sargasso-See der Sammelplatz des Seetangs und eben so des Treibholzes ist, so findet sich nach Maury (a. a. O. S. 130) auch im stillen Oceane westlich von Californien ein weiter Behälter, in welchem sich das Treibholz des stillen Meeres im Allgemeinen sammelt, so daß man also auch von einem chinesischen oder Japanischen Golfstrome sprechen könnte.

*) Maury a. a. O. S. 18. v. Humboldt's Kosmos. Bd. I. S. 328; am ausführlichsten handelt von der Sargasso-See Berghaus, allgem. Länder- und Völkerkunde. 1837. Bd. I. S. 418 ff.

**) Maury a. a. O. S. 17. Berghaus a. a. O. Bd. I. S. 535.

Der durch die Küſten in ſeinem Laufe geſtörte Weſtſtrom erſcheint ſomit als der Ausgangspunkt für die großen, den atlantiſchen und ſtillen Ocean durchfließenden Strömungen. In dieſer Abhängigkeit hat man ſie von Anfang an nicht erkannt, wie man ja in der Naturforſchung überhaupt von dem Speciellen zum Allgemeinen fortſchreitet; deshalb ſind einzelne Strömungen vorzugsweiſe ſtudirt und auch mit beſonderen Namen belegt worden. Die bekannteſte unter allen Strömungen iſt der Golfſtrom, bereits von Anghiera und Humfrey Gilbert im ſechzehnten Jahrhunderte erkannt *).

Der Golfſtrom kommt aus dem mexikaniſchen Meerbuſen oder mexikaniſchen Golfe und geht in der Richtung nach Nordoſt zu den europäiſchen Küſten. An der Ausfahrt des Canals von Bahama wendet er ſich unter dem Namen Strömung von Florida nach Nordoſt mit der Geſchwindigkeit eines Waldſtromes von 1,25 Meilen in 1 Stunde oder 8 Fuß in 1 Secunde. Bei den Bänken von Neufundland richtet er ſich geradezu öſtlich. Hierauf wendet ſich ein kleiner Theil nach Südoſt und vereinigt ſich mit dem an der afrikaniſchen Küſte ſüdwärts ſtrömenden Waſſer, ſo daß hier ein Kreislauf entſteht, in welchem das Waſſer in etwa $3^1/_2$ Jahren ſeinen Umlauf vollendet; der bei weitem größte Theil aber ſtrömt, indem ſein Waſſer ſich ſtets mehr ausbreitet, bis nach den Faröer-Inſeln, den irländiſchen und norwegiſchen Küſten. In der Nähe von Newyork, Philadelphia und Charlestown iſt er durch die höhere Temperatur, ſeine dunkle Farbe, den ſtarken Salzgehalt und die Menge Varec (Soda), welche er führt, kenntlich. Nach Norden hin wird er breiter, kälter und langſamer. Bei Bahama iſt er faſt 4 Meilen, gegen Charlestown über 10 bis 12 Meilen breit, und legt etwa 1 Meile in 1 Stunde zurück. Unter 40° n. Br. iſt ſeine Temperatur noch 22°,5 C., die des Meeres aber 17°,5 und ſeine Breite 20 Meilen. — Der Golfſtrom hat vom mexikaniſchen Buſen an bis an die Küſte von Carolina eine Indigofarbe. Sein Waſſer grenzt ſich ſo beſtimmt ab, daß man die Scheidelinie mit dem Auge verfolgen kann; ja man kann bemerken, wie die eine Hälfte des Schiffes im Golfſtromwaſſer, die andere in gemeinem Seewaſſer ſchwimmt. — Die Temperatur des Golfſtromes iſt noch nicht vollſtändig erforſcht. Franklin fand im November 1776 zwiſchen $35^1/_2$° und 39° n. Br. 23°,8 C. bis 27°,2, d. i. 5,5 bis 8,25° über der Temperatur, welche in dieſer Jahreszeit der Ocean in dieſen Breiten zeigt. Dies waren die erſten derartigen Beobachtungen, die ſeitdem oft wiederholt ſind. Berghaus (a. a. O. Bd. I. S. 558) giebt eine reichhaltige Ueberſicht der über die Temperatur des Golfſtromes gemachten Beobachtungen. — Merkwürdig iſt die dachähnliche Oberfläche des Stromes. Läßt man von einem Schiffe, welches ſich von dem Golfſtrome forttreiben läßt, ein Boot in das Meer, ſo pflegt dies entweder nach Oſten oder nach Weſten zu treiben, je nachdem es zufällig auf der einen oder anderen Seite der Stromare iſt, während das Schiff ſelbſt in der allgemeinen Richtung der Strömung dahintreibt. Dies läßt ſich nur dadurch erklären, daß der Strom von der Mitte nach dem Rande zu wie ein Dach ſich abſchrägt. Daher kommt es auch, daß ſchwimmende Subſtanzen, welche an der Oſtſeite des Stromes in See geworfen wurden, nie längs den Küſten der Vereinigten Staaten aufgefunden worden ſind, und eben ſo daß Seetang, Treibholz und andere feſte Körper, die man auf dem Golfſtrome ſchwimmend antrifft,

*) v. Humboldt's Kosmos. Bd. I. S. 327.

an ſeinem Rande ausgeworfen und abgeſetzt werden. — Die Lage des Golfſtromes iſt übrigens nicht feſt. Im September, wenn die See am wärmſten iſt, reicht die Nordgrenze deſſelben in der Länge von Neufundland weiter nach Norden, als im Winter. — Endlich wollen wir noch bemerken, daß die dichten Nebel Neufundlands, welche im Winter der Schifffahrt ſo große Gefahr bereiten, wohl dem ungeheuren Volumen warmer Gewäſſer ihre Entſtehung zu verdanken haben, welche der Golfſtrom in die kalten Meere leitet, und da hiermit nothwendig atmoſphäriſche Störungen verbunden ſind, ſo iſt auch nicht zu verwundern, daß in und an den Rändern des Golfſtromes die ſchrecklichſten Orkane wüthen *).

Haben wir oben den Urſprung des Golfſtromes aus dem Weſtſtrome nachzuweiſen geſucht, ſo mögen jetzt noch die früheren Anſichten eine kurze Berückſichtigung finden. Früher behauptete man, daß der Miſſiſſippi der Vater deſſelben ſei. Capitain Livingſton zeigte das Unbegründete, indem das Volumen Waſſer, welches der Miſſiſſippi in den Golf von Mexiko ausſchüttet, noch nicht ein Tauſendſtel von dem iſt, welches aus dem Golf durch dieſen Meeresſtrom entweicht. Ueberdies iſt das Waſſer des Golfſtromes ſalzig, das des Miſſiſſippi ſüß. Was der Strom an Salz aus dem Golfe entführt, das muß ein anderer Strom wieder erſetzen und dies geſchieht durch den Weſtſtrom. Livingſton behauptete nun, die Geſchwindigkeit des Golfſtromes hänge von der Bewegung der Sonne in der Ekliptik und von dem Einfluſſe ab, den ſie auf die Gewäſſer des atlantiſchen Oceans ausübt. Hiergegen trat Franklin mit der Anſicht auf, daß der Golfſtrom der Abfluß der Waſſermaſſen ſei, welche durch die Paſſatwinde in das caraibiſche Meer hineingetrieben würden. Dann müßte aber der Stand des Meeresniveaus im Golf von Mexiko ein viel höherer ſein, als oben bereits als ermittelt angegeben iſt.

Verfolgen wir nun den als Golfſtrom aus dem Buſen von Mexiko austretenden Weſtſtrom in ſeiner Richtung nach Norwegen zu weiter, ſo ergiebt ſich, daß die hier zuſammengedrängte Waſſermaſſe eine Strömung in das ſibiriſche Eismeer erhält, wodurch die ſtarke Strömung durch die Behringsſtraße und ſelbſt aus der Baffinsbay veranlaßt wird, woraus dann wieder die Strömungen des kalten Polarwaſſers an den Küſten von Grönland und Nordamerika erklärlich werden.

Ebenfalls aus dem Weſtſtrome erklärt ſich der bedeutende Meeresſtrom von St. Catharina nach Braſilien und dann zum Vorgebirge der guten Hoffnung. — Ferner iſt ein 130 Seemeilen breiter Strom an der Südküſte Afrikas, deſſen Waſſer ſtets 10° wärmer iſt, als das Waſſer des Meeres in ſeiner Nähe. Er geht dann in den großen Weſtſtrom über. — Ein mächtiger Strom geht vom grünen Vorgebirge nach dem Meerbuſen Fernando-Po, mit welchem die Schiffe 60 Seemeilen in 2 Tagen zurücklegen, wozu ſie gegen denſelben 6 bis 7 Wochen brauchen. — An der Küſte von Peru herrſcht von Chiloé an eine ſo heftige Strömung von Nord und Nordoſt, daß man von Lima nach Guayaquil in 3 bis 4 Tagen ſchifft, während man 2 bis 5 Monate braucht, um von hier nach Lima zurückzuſchiffen. — Bei der Inſel Ceylon geht ein Meerſtrom von Mitte März

*) L'Inſtit. No 988. p. 393 enthält eine Karte des verwickeltſten und intereſſanteſten Theiles des Golfſtromes von Saint Clair Deville. Sie begreift den Theil des atlantiſchen Oceans zwiſchen 10—40° n. Br. und 35—100° w. L., und hat den Zweck, die Temperatur des Waſſers an der Oberfläche in dieſem Raume anzugeben.

bis in den October von Norden nach Süden, die übrige Zeit in entgegengesetzter Richtung. — Zwischen Malacca und Cochinchina geht vom April bis August ein Strom ostwärts, dann aber mit solcher Heftigkeit nach Westen, daß das Meer braust, als wenn sein Wasser gegen Felsen anprallte. — Der schnelle Strom in der Sunda-Straße bei Sumatra geht zur Zeit der Westwinde 18 Stunden nach Südwesten und hilft dann den Schiffen gegen die Winde fort; zur Zeit der Ostwinde aber zieht er eben so lange nach Osten. In den übrigen Monaten gehorcht er dem herrschenden Winde. — Unweit Celebes giebt es nach verschiedenen Richtungen ziehende und veränderliche Ströme; bald laufen sie süd-, bald nordwärts, bald verschwinden sie ganz. — An der westlichen Küste Südamerikas gehen die Strömungen von Süden nach Norden. Von Morro de Puercos bis Malpelo gehen sie nach Südwesten und Westen, und von da nach St. Francisco, so lange Nordwinde herrschen, gegen Süden und Südwesten. Bei Südwinden erhalten sie eine nördliche und nordwestliche, von St. Francisco nach Malpelo eine östliche, und von hier nach Morro de Puercos eine nordwestliche und westliche Richtung. — Ein großer Theil der letzteren Strömungen gehört jedenfalls zur sogenannten Drift, worunter man eine nur oberflächliche Bewegung des Meeres versteht, an welcher eben die Luftströmungen den größten Antheil haben. Nicht dahin gehört aber die von A. v. Humboldt 1802 entdeckte Polarströmung, welche aus dem südlichen Eismeere kommend, bei der Insel Chiloé mit 11° C. die Küste von Südamerika trifft und noch mitten in der Tropengegend nur 15,6° C. zeigt, während das ruhende Wasser außerhalb desselben die Temperatur 27,5 und 28,7° hat. Erst in der Nähe des Aequators ist die Temperatur auf 20° gestiegen, wo die Richtung des Stromes westlich wird und in den allgemeinen Weststrom übergeht *).

Besondere Strömungen zeigen sich in Meerengen, von denen wir namentlich die in den Straßen von Gibraltar, Bab-el-Mandeb, von Constantinopel und in dem Sunde hervorheben wollen.

Die Strömung in der Straße von Gibraltar ist eine Doppelströmung. Aus dem atlantischen Ocean geht ein Oberflächenstrom in das Mittelmeer, wie oben bereits angegeben ist. Dieser Strom führt salziges Wasser, dessenungeachtet wird aber das Mittelmeer nicht salziger, und daraus schon wird man zu der Vermuthung veranlaßt, daß dieses eingeführte Salz wieder ausgeführt werden müsse durch einen unteren Strom. Hierauf bezügliche Beobachtungen gehen bis auf das Jahr 1712 zurück.

Im Jahre 1712 **) kam du L'Aigle, Commandeur des Kaperschiffes „der Phönix" aus Marseille, indem er nahe bei der Landspitze von Ceuta auf ein nach Holland fahrendes holländisches Schiff Jagd machte, mitten in der Meerenge zwischen Tarifa und Tanger mit demselben zusammen, gab ihm eine volle Lage und bohrte dasselbe sofort in den Grund. Die Mannschaft wurde gerettet. Einige Tage darauf kam das holländische Schiff mit seiner Ladung von Branntwein und Oel an der Küste von Tanger wieder zum Vorschein, d. h. wenigstens 12 englische Meilen westlich von der Stelle, wo es gesunken war, und gerade gegen den An-

*) Kosmos. Bd. I. S. 328. Berghaus a. a. O. Bd. I. S. 590.

**) Maury a. a. O. S. 121, nach Hudson's 1724 der Philosophical Society mitgetheiltem Aufsatze.

drang der Strömung. Also muß in der Mitte der Meerenge im tiefen Waſſer eine Rückſtrömung ſein nach dem atlantiſchen Oceane hin.

1828 fand Wallaſton das ſpecifiſche Gewicht einer Probe von Meerwaſſer aus einer Tiefe von 670 Faden, 50 Meilen (Seemeilen oder engliſche?) innerhalb der Meerenge ſo bedeutend, daß es die Dichtigkeit des deſtillirten Waſſers um mehr als das Vierfache des gewöhnlichen Exceſſes überſchritt und alſo bei der Verdunſtung auch mehr als das Vierfache der gewöhnlichen Menge von Salzreſiduum zurückließ. Hat alſo die untere, nach dem atlantiſchen Oceane gerichtete Strömung mit der oberen gleiche Breite und Tiefe, ſo führt ſie ſo viel Salz, als die obere zubrachte, wieder aus, wenn ſie ſich auch mehr als viermal langſamer bewegt.

Wie in der Straße von Gibraltar, verhält es ſich in der Straße Bab-el-Mandeb. Hier iſt ebenfalls eine obere Strömung vom Ocean in das rothe Meer hinein und eine untere aus dieſem in den Ocean hinaus. Als Beweis hierfür verweiſen wir auf die oben unter Nr. 3. S. 990 beigebrachten Angaben über den Salzgehalt des rothen Meeres.

Von dem Sunde erzählt man folgenden Vorfall: Matroſen von einer engliſchen Fregatte fuhren in einer leichten Pinaſſe mitten in den Sund, indem das Fahrzeug der gewöhnlichen Strömung folgte. Als ſie aber einen ledernen Eimer, in welchem ſich eine große Kanonenkugel befand, in das Waſſer hinabließen, ſo hielt die Pinaſſe allmälig ſtill, und fuhr endlich, wie der Eimer immer tiefer kam, gerade gegen die Strömung. Es ergab ſich bei genauer Unterſuchung, daß die untere entgegengeſetzte Strömung in einer Tiefe von 4 bis 5 Faden bemerkbar zu werden anfing, und daß ſie immer mehr zunahm, je mehr man ſich dem Grunde näherte.

So wie an dieſen beſonderen Localitäten Gegenſtrömungen ſtattfinden, ſo ſind die Meeresſtrömungen überhaupt nur möglich, wenn eine Oberflächenſtrömung durch eine entgegengeſetzte untere compenſirt wird, jedenfalls bedingt ein Strom einen anderen in entgegengeſetzter Richtung. Wir führen hier deshalb noch einen Beleg für unterſeeiſche Strömungen an *). Lieutenant J. C. Walsh auf dem Schooner der Vereinigten Staaten „Taney" und Lieutenant S. P. Lee auf der Brigg „Delphin" haben beide hierüber Verſuche angeſtellt. Ein Holzblock wurde bis zum Unterſinken befrachtet und vermittelſt einer Fiſcherleine oder an einem Takelgarn bis zur Tiefe von 100 oder 500 Faden (600 oder 3000 Fuß) ins Meer hinabgelaſſen. Ein kleiner Schwimmer, nur gerade hinreichend, um den Block am tieferen Einſinken zu verhindern, wurde dann an die Leine befeſtigt und das Ganze vom Boote losgelaſſen. Sie erzählen: „Es war wunderbar, dieſe Barrega ſich gegen Wind und See und Oberflächenſtrömung und zwar im Allgemeinen ſtündlich einen Knoten, in einem Falle ſogar $1^3/_4$ Knoten, fortbewegen zu ſehen. Die Leute im Boote konnten einen Ausruf des Erſtaunens nicht zurückhalten, denn es erſchien wirklich ſo, als ob ein Seeungeheuer der Tiefe das Gewicht unten ergriffen hätte und mit demſelben davoneilte."

Bemerkenswerth ſind noch die Seitenſtrömungen, welche in manchen Meerengen, z. B. in der von Gibraltar, an den Seiten der Ufer dem Hauptſtrome entgegengeſetzt auftreten.

---

*) Maury a. a. O. S. 134.

Als Urſache aller Meeresſtrömungen iſt demnach hauptſächlich der Oſtſtrom (Weſtſtrom) zu betrachten. Ueberdies ſind periodiſche Winde, ungleiche Temperatur des Meeres (wodurch eine gewaltige Ausdehnung des wärmeren Theiles bedingt wird), Klippen und Meerengen, der ungleiche Waſſerſtand mittelländiſcher Meere und der durch die Verdunſtung bewirkte größere Salzgehalt (welcher größere Schwere des Waſſers zur Folge hat) als Urſachen der verſchiedenen Meeresſtröme zu betrachten. Die Schiffe ſuchen natürlich von den Meerſtrömen Vortheil zu ziehen, doch erleiden ſie auch große Nachtheile durch dieſelben, namentlich wenn ſie gegen den Strom ſegeln müſſen. Sind ſie in einem reißenden Strome, wie dem bei Peru, nur um einen Tag zu weit an dem Hafen, nach dem ſie beſtimmt ſind, vorbei geſegelt (indem Nebel, die häufig namentlich an jener Küſte ſind, ſie täuſchen), ſo haben ſie zuweilen einen Monat lang zu thun, um denſelben Weg wieder zurückzulegen. Ob ſich das Schiff in einem Strome befindet, kann man nur bei ſehr reißenden Strömen alsbald bemerken. Denn ſobald Schiff und Strom mit gleicher Schnelligkeit zugleich forteilen, ohne daß ein Brauſen des Meeres zu bemerken iſt, ſo ſcheinen beide auf den erſten Anblick ſtill zu ſtehen. Die Schiffer bedienen ſich daher, um zu entdecken, ob ſie ſich in einer Strömung befinden, des Log's *), indem ſie den in gewiſſer Zeit wirklich zurückgelegten Weg

---

*) Horner giebt folgende Beſchreibung des Log. Vom ſegelnden Schiffe wird ein ſchwimmender Körper an einem langen Faden ausgeworfen; dieſer iſt dann als ein ruhender Punkt zu betrachten, von welchem das Schiff ſich entfernt; der nachgezogene Faden mißt dieſe Entfernung für einen gegebenen Zeitraum, z. B. eine halbe Zeitminute, und aus dieſem kurzen Verſuche wird dann auf die Ortsveränderung des Schiffes in einer ganzen Stunde ein freilich ſehr unſicherer Schluß vom Kleinen aufs Große gemacht. Der ſchwimmende Körper oder das Log ſelbſt iſt ein hölzerner Quadrant von 4 bis 6 Zoll Radius, an deſſen Kreisrand A B in beiſtehender Figur ein Streifen Blei eingelaſſen iſt, ſo ſchwer, daß die Spitze C nur eben aus dem Waſſer herausragt. In A und B ſind zwei Schnuren befeſtigt, die in D ſich gabelförmig vereinen; die dritte Schnur C D iſt mit dem Pflocke C in Verbindung, der nicht allzufeſt in das Logbrett eingeſteckt iſt. Alle drei vereinigen ſich in die Logleine. Vermöge des Bleirandes ſchwimmt das Logbrett aufrecht und ſetzt mithin dem Waſſer in der Richtung des Zuges die größte Fläche entgegen. Ein plötzliches Anhalten der Linie nach gemachter Beobachtung bringt auf die Schnur C D einen ſchnellen Ruck hervor, welcher das Zäpfchen ausziebt, ſo daß nun das Logbrett flach auf dem Waſſer liegt, mithin dem Einziehen deſſelben wenig Widerſtand entgegengeſetzt wird. Die Logleine ſelbſt iſt hin und wieder durch eingeklemmte Zeichen oder Knoten von farbiger Wolle abgetheilt nach folgenden Regeln. Der mittlere Grad des Erdmeridians hält 57040 Toiſen, alſo eine Erdminute oder die nautiſche, auch ſogenannte italieniſche Meile 5704 Par. Fuß. Ein Schiff, welches in einer Stunde Zeit eine ſolche Meile zurücklegt, hätte alſo Geſchwindigkeit in 1 Minute $= \frac{5704}{60} = 95'$; in einer halben Minute $47\frac{1}{2}$ Par. oder nahe 51 engl. Fuß. Nach dieſen Intervallen wird die Logleine in Knoten eingetheilt, wobei auch halbe und Viertelsknoten oder beſſer noch Zehntheile ſtattfinden. Das erſte Zeichen iſt um 50 bis 60 Fuß vom Logbrette entfernt, damit vor Anfang der Meſſung das Log ſich hinreichend aus den Strudeln des Schiffes entfernen und die ihm vorher ertheilte Geſchwindigkeit verlieren könne. Das Intervall von 30 Secunden wird vermittelſt einer kleinen Sanduhr beſtimmt. Zur Operation ſelbſt werden drei Perſonen erfordert. A hält

(nach aſtronomiſchen Beobachtungen berechnet) mit dem vom Log angezeigten vergleichen. Bewegt ſich nämlich das Schiff allein unter dem Einfluſſe eines Stromes, ſo wird ſich das Log in derſelben Entfernung vom Schiffe erhalten, denn es wird eben ſo wie dieſes vom Strome fortgetragen. Wirkt aber der Sturm mit dem Strome zugleich zu Förderung des Schiffes, ſo bewegt ſich dies ſchneller, als aus der Beobachtung des Log zu ſchließen iſt. Treibt endlich der Wind das Schiff gegen den Strom, ſo wird es durch dieſen aufgehalten und das Log giebt zu große Angaben. Steht endlich das Schiff ſtill und wird das Log ausgeworfen, ſo geht es natürlich mit dem Strome fort.

Wenn das mit Gewalt fortſtrömende Waſſer auf Felſen trifft, ſo entſteht ein Wirbel, eine kreisförmige Bewegung des Waſſers, und Stellen, wo dies vorkommt, werden Strudel genannt. Auch da, wo zwei Meerſtröme einander entgegen kommen, entſtehen Strudel. Zu den bekannteſten, ſchon im Alterthume berühmten Strudeln gehören die Scylla und Charybdis. Homer, Virgil, Lucrez, Ovid, Ariſtoteles, Salluſt, Seneca, Strabo, Plinius, Mela und andere beſchreiben ſie als fürchterlich. Entweder die Meerenge iſt jetzt weiter, und die Klippen ſind mehr weggeſpült, oder weit wahrſcheinlicher macht die bedeutend vervollkommnete Schifffahrt dieſe Strudel jetzt minder gefährlich. Beide liegen zwiſchen Calabrien und Sicilien, wo ein regelmäßiger, ruhiger Strom ſich findet, welcher abwechſelnd nach Süden oder Norden geht. Wird er durch Windſtöße geſtört, ſo entſtehen durch Ungleichheit der Meeresufer und durch verborgene Klippen die Strudel. Darunter iſt Scylla der gefährlichſte. Ein längs der nördlichen Küſte Siciliens hinfließender Strom begegnet einem anderen an der Küſte Italiens herabfließenden, und wenn dieſe heftig bewegt gegen einander ſtoßen, ſo vermögen die entſtehenden Wellen ſelbſt größere Schiffe zu zertrümmern. Winde, welche an der Küſte Italiens herabwehen, vermehren die Gefahr. Scylla ſelbſt bildet einen ſteilen, mäßig hohen, mit Höhlungen verſehenen Felſen, in welche die Wellen hineinſchlagen und dadurch ein auf 2 italieniſche Meilen hörbares Geheule, wie das Bellen der Hunde verurſachen. Nach Beſchaffenheit des Windes iſt die Strömung ſtärker, und die Schiffe würden entweder gegen den Felſen der Scylla, oder auf die gegenüberliegenden Sandbänke geworfen werden, wenn nicht 24 Lotſen, welche die Strömung ſehr genau kennen, die Schiffe mit bewundernswürdiger Geſchicklichkeit durchbrächten. Neun italieniſche Meilen unterwärts bei Meſſina liegt die Charybdis. Die dortigen Schlünde unter dem Waſſer ſind Folgen der Strudel, nicht Urſachen derſelben, denn ſonſt müßten dieſe beſtändig ſein. Ein Theil des

---

einen leichten hölzernen Haſpel, auf welchen die Leine aufgewickelt iſt, mit der Are horizontal, B hält das Sandglas, und der Beobachter C wirft das Log aus, deſſen Leine er loſe zwiſchen den Fingern durchgleiten läßt. In dem Augenblicke, wo ihm der Anfangsknoten der Logleine durch die Hand ſchlüpft, kehrt B auf ſeinen Ruf das Sandglas um, und giebt hinwieder, wenn dieſes abgelaufen iſt, dem C ein Zeichen, die Leine anzuhalten. Dieſer zählt dann die abgelaufenen Knoten und giebt nach dieſen den Weg in Knoten oder Gradminuten an, welchen das Schiff im Laufe einer Stunde zurücklegt. Ein Knoten Fahrt würde demnach dem Schiffe eine Geſchwindigkeit von 1½ Par. Fuß in der Secunde geben; die gewöhnliche, gemäßigte Bewegung von 4 bis 5 Knoten wäre einer Geſchwindigkeit von 7 Fuß gleich. Die bei ſtarkem Winde eintretende Fahrt von 7 bis 8 Knoten würde 11 bis 12 Fuß in der Secunde betragen, ſo daß man in 24 Stunden wohl 30 bis 40 deutſche Meilen zurücklegen kann.

durch den Canal getriebenen Waſſers ſtrömt gegen den Felſen des Leuchtthurms Calofaro, dem andere Strömungen begegnen, wodurch das Waſſer ſehr unruhig wird und Wellen ſchlägt, durch welche ſchwimmende Gegenſtände nach Außen getrieben werden. In ruhigen Zeiten kann man ſie mit kleinen Booten befahren, und Spallanzani fand ſie nur 500 Fuß tief. Wenn aber der Siroco oder S. O. Wind wehet, ſo werden die Schiffe von dem Strome hineingeriſſen und von den Wellen zerſchlagen oder gegen die Felſen geworfen, wenn ſie nicht zeitig durch die erfahrnen Lotſen gerettet werden. Anker, Segel und Steuerruder helfen in Scylla und Charybdis ſelbſt dem erfahrenſten Seemanne nicht.

Bekannt iſt auch der Mahlſtrom, Mäelſtrom, Mosköeſtrom an der Küſte Norwegens. Eine Reihe kleiner Inſeln, die Lofoden, zieht ſich hier von der Küſte abwärts, in weſtſüdweſtlicher Richtung ins Meer hinein, und bildet ſo gleichſam eine Landzunge, die aber von einer Menge ſchmaler Canäle zerſchnitten iſt. An der äußerſten Spitze dieſer Landzunge liegen zwei Inſeln Wäron (Verören) und Röſt (Röſton), welche von den übrigen Lofoden durch einen etwas breiten Canal getrennt werden. In der Mitte deſſelben ſteht die Klippe Mosköe. Der zwiſchen den Lofoden und dem feſten Lande befindliche Meerbuſen iſt unter dem Namen Weſt-Fiorden bekannt. Der Mosköe-Strudel entſteht nun durch den Kampf der dortigen Strömungen mit der Ebbe und Fluth. In jenem Canale bewegt ſich nämlich das Waſſer mit einer außerordentlichen Heftigkeit abwechſelnd ungefähr ſechs Stunden von Norden nach Süden, und eben ſo lange von Süden nach Norden; aber immer mit der Ebbe und Fluth in entgegengeſetzter Richtung, ſo daß, wenn die Fluth nach Norden geht, der Strom nach Süden und umgekehrt nach Norden zieht, wenn jene nach Süden geht. Blos bei dem Umſetzen zur Zeit der höchſten Fluth und der tiefſten Ebbe tritt ungefähr 10 bis 15 Minuten ein Stillſtand ein. Merkwürdig iſt dabei, daß der Strom nicht, wie andere Meerſtröme, in der nämlichen Richtung vor und rückwärts läuft, ſondern dabei gewiſſermaßen einen Halbkreis beſchreibt. Wenn nämlich das Meer in halber Fluth iſt und nordwärts zieht, ſo geht der Strom nach Süden. In dem Maße aber, als die Fluth wächſt, wendet er ſich allmälig nach Südweſten, dann nach Weſten, hierauf nach Nordweſten und endlich nach Norden. Zur Zeit der halben Ebbe wendet er ſich auf demſelben Wege nach Süden zurück und verweilt hier ſo lange, bis das Meer von neuem ſich in halber Fluth befindet. Wie dieſe ſonderbare Bewegung des Mahlſtromes entſteht, läßt ſich auf folgende Art erklären. Wenn die Fluth von Süden nach Norden anſteigt, ſo theilt ſie ſich an der Spitze der Lofoden in zwei Hälften. Die eine (weſtliche) ſetzt ihren Lauf ungehindert fort, die andere (öſtliche) aber wird in Oſten und Norden durch das Land, in Weſten durch die Inſeln aufgehalten, wodurch das Waſſer anſehnlich gehoben werden muß. Durch die ſchmalen Bäche zwiſchen den Inſeln kann es nicht ausweichen, es muß ſich alſo dahin wenden, wo der niedrigſte Stand iſt, nämlich bei der Klippe Mosköe, und da Strömung und Fluth ſich hier begegnen, ſo entſteht daraus ein heftiger Strudel. So lange die Fluth noch ſchwach iſt, hindert ſie den Strom nicht, gerade nach Süden zu gehen; aber in dem Maße, als ſie wächſt, gewinnt ſie an Kraft, und zwingt ihn nun, nach derjenigen Seite auszuweichen, wo kein Land Widerſtand leiſtet und das Waſſer am niedrigſten iſt, nämlich nach Weſten. Es iſt leicht zu erklären, wie der Strom zuletzt bis nach Norden hin gelenkt werden, und wie er beim Zurückgehen der Fluth ſich allmälig wieder nach Süden wenden muß. Die

Wirbel, welche der Strom zu der Zeit macht, wo er am heftigſten iſt, ſind nicht über zwei Klaftern tief, und die Gefahren, welche er den Schiffen bringt, ſind in früheren Zeiten gleichfalls ſehr übertrieben worden. Man erzählte ſich ſonſt, daß die Wirbel Alles in ihre Mitte riſſen und klein mahlten, und daß der Strom eben davon den Namen Mahlſtrom erhalten habe; ſelbſt Wallfiſche und die größten Schiffe dürften ſich ihm nicht ohne Gefahr nähern. Dies iſt unwahr. Es wird im Gegentheil hier ein ſtarker Fiſchfang getrieben. Ein Baum, den man hineinwirft, ſoll den Wirbel beſänftigen. Daß die Menge von Klippen, beſonders zur Zeit der großen Stürme, einzelnen Schiffen Gefahr bringen könne, iſt allerdings nicht zu läugnen, kommt aber nicht auf Rechnung des Strudels.

Ein auch ſchon bei den Alten berühmter Strudel iſt der chalcidiſche, in dem Euripus, oder in der Meerenge des griechiſchen Archipels, welche die vormalige Inſel Euböa (jetzt Egribus oder Negroponte genannt) von dem feſten Lande Griechenlands, namentlich Böotien und Attika (dem jetzigen Livadien) trennte. Sie iſt bei der heutigen Stadt Negroponte (dem alten Chalcis) ſo ſchmal, daß man eine Brücke darüber ſchlagen könnte. Achtzehn bis neunzehn Tage in jedem ſynodiſchen Monate giebt es hier eine regelmäßige Ebbe und Fluth, die binnen 24 Stunden wie anderwärts zweimal abwechſelt. Allein vom 9. bis zum 13., ſo wie vom 21. bis zum 26. nach dem Neumonde erfolgt die Ebbe und Fluth alle 24 Stunden 12, 13 oder 14 Mal, und das Waſſer iſt dabei in einer ſo äußerſt heftigen und reißenden Bewegung, als ob ſie durch den Sturm hervorgebracht würde. Gegenſtände, die der Strudel ergreift, werden verſchlungen und kommen erſt nach einiger Zeit wieder zum Vorſchein. Nach dieſen Beobachtungen, welche man einem Jeſuiten, Namens Babin, verdankt, der ſich zwei Jahre lang in Negroponte aufgehalten hat, ſchien die ganze Erſcheinung mit dem Stande des Mondes in den Vierteln in Verbindung zu ſtehen. Andere Beobachter haben gerade das Gegentheil finden wollen und behaupten, daß die Bewegungen des Euripus 18 bis 19 Tage in jedem (ſynodiſchen) Monate unregelmäßig, 10 bis 11 dagegen regelmäßig wären. Noch andere behaupten, während eines ganzen Monates gar keine Unregelmäßigkeit im Eintreten der Ebbe und Fluth, ſondern blos bei der letztern eine ſehr heftige Bewegung des Waſſers bemerkt zu haben. Auch die Erzählungen der Alten von den Erſcheinungen des chalcidiſchen Strudels weichen ſehr von einander ab, und es ſcheint daher, als ob dieſe Erſcheinungen ſelbſt ſich nicht gleich blieben.

Auch in den Faröer Inſeln ſind namentlich drei von den Schiffern gefürchtete Strudel: der Sumböe-Maelſtrom an der Südoſtſpitze der Inſel Suderöe; das Mühlrad zwiſchen der Inſel Sandöe und der Maelſtrom zwiſchen den Inſeln Skinöe, Bordöe und Videröe. Andere Strudel ſind im bothniſchen Meerbuſen, an der nördlichen Spitze der Inſel Bornholm, an der nordamerikaniſchen Küſte im Long-Island-Sunde u. ſ. w.

Die wellenförmige Bewegung des Meeres, der Wellenſchlag und die Wogen, wird durch den Stoß des Windes gegen das Waſſer hervorgebracht, iſt daher auch am gewaltigſten während eines Sturmes und nach demſelben. Durch den Stoß gegen das Waſſer wird eine Erhebung der umliegenden Theile hervorgebracht, dieſe ſinken wieder nieder und pflanzen dadurch den erſten Stoß wieder weiter fort, ſo daß ſich ein neuer Wellenberg erhebt u. ſ. f. Bei völliger Windſtille iſt auch das Meer ruhig und ſeine Oberfläche glatt. Erhebt ſich darauf ein

ſchwacher Wind, ſo geht es in eine kräuſelnde Bewegung über, die mit dem Winde zunimmt und bald zum Wellenſchlage wird. Mit dem Winde wachſen die Wellen bis zu einer beſtimmten Grenze. Wird nämlich der Sturm zu heftig, ſo drückt die Luftmaſſe ſo gegen das Waſſer, daß ſie die Erhebung der Wellenberge hindert. Läßt aber dann der Sturm plötzlich nach, ſo beginnt nun das Meer größere Wellen als vorher zu ſchlagen, welche Erſcheinung die Schiffer hohle See nennen. Größe und Geſtalt der Wellen hängen von der Tiefe und der Ausdehnung des Meeres ab, zum Theil ſind ſie kurz und ſchmal, zum Theil lang und breit. Jene ſind die der Schifffahrt gefährlichſten, denn ſie ſind zugleich hoch und ſchleudern daher das Schiff gewaltig ſchnell hin und her. Sie entſtehen auf flachen Meeren, wo der Wind leicht bis zum Grunde fortwirkt und hier einen Gegenſtoß veranlaßt. In tiefen weiten Meeren iſt die Wellenbewegung ausgedehnter und langſamer. Im Mittelmeere ſteigen die Wellen nur ſelten mehr als 8 Fuß über die gewöhnliche Meeresfläche. In der Oſtſee ſteigen die Wellen bis zu 9 und 10 Fuß. Da jede Welle eine gleich große Vertiefung unter dem Meerſpiegel zu Folge hat, ſo werden alſo die Schiffe bei ſolchem Wellenſchlage bis zu 20 Fuß heraufgehoben und herabgelaſſen. Ventland ſah bei den heftigſten Stürmen die Wogen ſich in mehr als 20 engl. Fuß über dem mittleren Meeresſpiegel erheben. Die größte Höhe über dem Verdecke des Schiffes betrug 18 engl. Fuß *). Können ſich die Wellen nicht ausbreiten, ſondern ſind ſie zuſammengedrängt, ſo daß ſie über einander ſtürzen, ſich aufthürmen, ſo häufen ſie ſich oft zu wahren Waſſerbergen auf. Heftiger Sturm ergreift zuweilen die Gipfel der Wellen und ſchleudert ſie über das Meer hin. Mit ungeheurer Gewalt ſtürzen die Wellen gegen und über die Schiffe hin. Kotzebue erzählt, wie durch eine Woge, die über ſein Schiff ſtürzte, ein Balken von 2 Fuß im Durchmeſſer, der Vordermaſt, zerſchmettert wurde. Die Wellen beben indeſſen nur die Oberfläche des Meeres und wühlen das Waſſer höchſtens bis zu einer Tiefe von 72 Fuß auf, ſo daß in 90 Fuß Tiefe vollkommene Stille herrſcht, ſelbſt wenn das Meer ſo bewegt iſt, daß kein Schiff auszulaufen wagt. Die Perlenfiſcher ſcheuen die bewegte See nicht, um ihrer Beſchäftigung nachzugehen. Neuere Beobachtungen ſcheinen jedoch für ein Tiefergehen der Wellen zu ſprechen, wenigſtens will Siot **) mit neuen Apparaten bei Isle de France noch bei 193 Meter Tiefe eine Wirkung der Meereswogen gefunden haben.

Wellen, die mit Heftigkeit über Klippen entſtehen, vom Andrange des Meeres gegen ſie (ohne daß Wind vorhanden zu ſein braucht), heißen Brecher. Unter Waſſerwänden verſteht man viele über einander geſchobene Wellen, welche, indem ſie über eine Untiefe getrieben werden, ſich ſtark ausbreiten und gleich einer über dem Waſſer hervorragenden Mauer viele Fuß in die Höhe ſchwellen, endlich zerreißen und in ſich ſelbſt zuſammenſtürzen. Sie bedecken dabei oft die ihnen ſich nahenden Schiffe und vermögen kleine Fahrzeuge ganz zu verſenken. Waſſerwände kommen namentlich im atlantiſchen Meere an der Küſte von Senegal häufig vor.

Beſonders ſchrecklich iſt das Toſen des Meeres an ſteilen und felſigen Küſten, wo es die Brandung bildet, wobei eben die Brecher auftreten. Die Wellen, welche in ſchneller und wegen ihrer Maſſe und Schnelligkeit heftiger Bewegung

*) Compt. rend. T. V. p. 703. Pogg. Ann. Bd. XLII. S. 592.
**) L'Instit. 1841. IX. p. 154.

sind, finden nämlich bei steilen und felsigen Küsten einen Widerstand, den zu überwinden sie nicht im Stande sind. Jede folgende Welle drängt die vorhergehende, und sobald diese aufgehalten wird, hebt sie dieselbe empor, bis sie sich überstürzt, worauf die gehobene Wassermasse in Gestalt von kleinen Wellen über die neu ankommenden zurückrollt. Diese Erscheinung des Zurückrollens der Wellen heißt die Widersee. So kommt es, daß sich die Wellen bei der Brandung häufig bis zu einer Höhe von 15, 20 ja 100 Fuß erheben. Bei flachen Ufern, oder wenn die See stark bewegt ist, werden die Wellen häufig aufs Land geworfen. Das durch die Brandung hervorgebrachte große Getöse wird besonders bei der Stille der Nacht Meilen weit vernommen und unterscheidet sich von dem gewöhnlichen Brausen des Meeres durch einen volleren Ton. Den Seeleuten ist die Brandung besonders gefährlich, indem jedes größere oder kleinere Fahrzeug, welches in sie hineingeräth, fast in allen Fällen zertrümmert wird. Es sind die Fälle nicht selten, daß Schiffe durch die Brandung geradezu umgekehrt worden sind, so daß das obere Ende des Mastes im Sande steckte, während der Kiel über das Wasser ragte. Am stärksten ist die Brandung in den tropischen Gegenden, besonders im Indischen Oceane. Ueber das Theoretische der Wellenbewegung verweisen wir auf den Artikel Wellen.

Seit den ältesten Zeiten ist es eine den Schiffern bekannte Thatsache, die jedoch von den Physikern als unglaublich wiederholt in Zweifel gezogen worden, daß das Oel den Wellenschlag des Meeres zu besänftigen vermöge. Muncke *) äußert sich darüber wie folgt: „Das interessante Phänomen, welches unmöglich in einer eigentlichen Niederdrückung der Wellen bestehen kann, kommt im wesentlichen auf zwei Wirkungen hinaus, erstlich, daß die gekräuselte Oberfläche des Meeres durch ausgegossenes Oel ruhiger und somit durchsichtiger wird, weswegen die Fischer dieses Mittel anwenden, um Gegenstände unter dem Wasser zu sehen, und zweitens, daß Schiffe, wenn sie im Begriffe sind zu stranden oder wenn sie über eine Untiefe wegfahren müssen, Oel ausgießen, dadurch eine augenblickliche Besänftigung des Meeres bewirken und sowohl die Untiefe leichter passiren, als insbesondere auch durch eine hohe Welle möglichst weit auf den flachen Strand gesetzt werden, damit die nachkommenden Wellen das Schiff weniger beschädigen, insbesondere aber die Menschen im Augenblicke des Rückganges der Welle und bis zur Ankunft einer neuen sich auf das Land retten. Einige, namentlich Patterson und Achard leiten diese Wirkungen aus den einander aufhebenden verschiedenen (nicht gleichzeitig und ungleich starken) Schwingungen der ungleichen Flüssigkeiten her, was aber dadurch widerlegt wird, daß die Oeldecke viel zu dünn ist, um in eigenthümliche Schwingungen versetzt zu werden, viel weniger aber, daß diese die starken Oscillationen der Wasserwellen aufheben sollten. Müller dagegen und insbesondere Weber messen dieselben theils einer geringen Bindung des Wassers durch das zähere Oel, hauptsächlich aber dem Umstande bei, daß der Wind von der glatten Wasserfläche abgleitet, mithin die kleinen kräuselnden Wellen auf den größeren, welche die Kraft des Ganzen erhöhen, nicht erzeugen, außerdem aber vorzüglich zur Erhaltung der einmal gebildeten Wellen nicht weiter wirken kann, wonach diese, wenn sie nicht fortwährend gehoben werden, nothwendig zunehmend sinken müssen."

*) Gehler's physik. Wörterb. N. B. Bd. VI. S. 1754.

5) Meeresboden. In dem von der Meerestiefe handelnden Abſchnitte haben wir bereits geſehen, daß der Meeresboden ſehr uneben iſt. Es fragt ſich nun noch, von welcher Beſchaffenheit derſelbe ſei, überhaupt wie es auf dem Grunde des Meeres ausſehen mag.

Mit Hülfe des Apparates von Brooke (ſ. Abtheilung 2. dieſes Art.) hat man Proben des Meeresgrundes aus bedeutenden Tiefen emporgeholt. Dieſelben, welche ſcheinbar aus Thon beſtanden, wurden getheilt und einen Theil erhielt Profeſſor Bailey in Weſt-Point, den anderen Profeſſor Ehrenberg in Berlin. Bailey unterſuchte den Thon und fand unter dem Mikroſkope alle Proben angefüllt mit mikroſkopiſchen Muſchelſchaalen, aber nicht eine Spur von Sand oder Kies. Nach ihm ſind dieſelben vorzugsweiſe zuſammengeſetzt aus vollkommenen, kleinen, kalkhaltigen Muſcheln (Foraminiferae) und enthalten auch eine kleine Anzahl kieſelhaltiger Muſcheln (Diatomaceae). Er hält es nicht für wahrſcheinlich, daß dieſe Thiere in den Tiefen gelebt haben, wo ſich ihre Schaalen vorfinden, ſondern daß ſie die Gewäſſer nahe an der Oberfläche bewohnen und daß ſich, wenn ſie abſterben, ihre Schaalen auf dem Grunde ablagern *). Eben ſo belehren uns Ehrenberg's Unterſuchungen **) (wobei wir zugleich auf die Mikrogeologie von Ehrenberg, Leipzig 1854, aufmerkſam machen, als auf das umfaſſendſte Werk irgend einer Literatur über die Geſteinbildende Thätigkeit der Organismen), daß auch in einer Tiefe von 10800, 12000 und 12900 Fuß zahlreiche organiſche Formen zur Bildung von Geſteinsmaterial beitragen. Er fand die Proben kalkhaltig und der Kalkgehalt beſteht überwiegend aus kleinen Thierſchaalen, nur ſelten aus kleinen vereinzelten Kalkkryſtallen. Zuweilen iſt der Boden Quarzſand und beſteht immer aus glatten, rundlichen, gerollten Quarzkörnern. In großen Tiefen findet ſich auch Glimmer beigemiſcht, in geringen Tiefen kleine Fragmente von zelligem Bimſtein. Die kleinen Schaalthiere finden ſich im tiefen Meeresgrunde nicht als leere, todte, ausgefüllte Schaalen, ſondern ſie ſind oft thieriſch erfüllt, und Ehrenberg glaubt, daß in 12000 Fuß Tiefe am Meeresboden nicht nur ein thieriſches, ſondern auch ein pflanzliches Leben exiſtirt. An Maſſe überwiegen die Polythalamien, an Zahl der Arten Polygastrica und Polycistina. Letztere ſind in geringeren Tiefen ſeltener oder fehlen, und nehmen in größerer Tiefe zu. Die Geſammtzahl der beobachten Formen aus der Tiefe beträgt 150 Arten; an Lebensformen aus der Tiefe von über 6000 Fuß 120 Arten. Unter dieſen ſind 2 lebensfähige Arten von Pflanzen in raſenartiger Entwickelung, deren eine dunkelſchwarzbraun gefärbt und weit verbreitet iſt. Der kalkhaltige tiefe Meeresboden hat ſeinen thieriſchen Formen nach manche Aehnlichkeit mit der Kreidebildung und in dem Aeußeren mit Thon, iſt aber weder Kreide noch Thon, ſondern ein biolithiſcher Mergel aus organiſchen Kalkſchaalen, organiſchen Kieſelſchaalen und etwas unorganiſchem Quarzſande und Mulm, was am meiſten Aehnlichkeit hat mit den Mergeln von Caltaniſetta, Oran und Aegina, ohne damit übereinzuſtimmen. Die Annahme von Lyell ***), daß der Salzgehalt

*) Maury a. a. O. S. 201. Silliman, Americ. Journ. [2] T. XVII. Berl. Akad. Ber. 1854. S. 191.

**) Berliner Akad. Bericht. 1854. S. 54. 236. 305; 1853. S. 173. Liebig und Kopp's Jahresbericht. 1854. Gießen 1855, S. 883.

***) Lyell's Principles of Geology. London 1853. p. 334.

mit der Tiefe des Meeres zunehme, wird durch Ehrenberg's Beobachtungen widerlegt. Der Boden wird mit keiner Salzkruste bedeckt, noch sind die Erden sehr mit Salz erfüllt, vielmehr findet sich ein fast unsalziger lebenreicher Schlamm- und Sandgrund. H. E.

Meniscus, s. Linsenglas S. 545 und Barometer Bd. I. S. 728.

Mennige, s. Blei.

Mercur, s. Planeten.

Meridian (v. d. lat. meridies, Mittag) oder Mittagskreis eines Ortes der Erde, heißt derjenige größte Kreis der Erdkugel, dessen Ebene man sich zugleich durch beide Pole und durch den betreffenden Ort der Erde gelegt vorstellt. Der Meridian oder Mittagskreis am Himmelsgewölbe ist derjenige größte Kreis der scheinbaren Himmelskugel, dessen Ebene durch die beiden Pole und durch das Zenith und Nadir des Beobachters geht. Diese beiden Ebenen, Meridianebenen genannt, fallen zusammen und stehen an dem Orte des Beobachters auf dem Horizonte und eben so auf dem Aequator senkrecht, jene auf dem der Erde, diese auf dem des Himmelsgewölbes. Die Durchschnittslinie der Meridianebene und des Horizontes heißt Mittagslinie, wird aber wohl auch schlechthin Meridian genannt. Der nordwärts gerichtete Theil der Mittagslinie zeigt von dem Beobachtungsorte aus nach Norden, der südwärts gerichtete nach Süden; eine auf der Mittagslinie an dem Beobachtungsorte senkrecht stehende, in dem Horizonte liegende Linie zeigt auf der Seite, auf welcher die Gestirne aufgehen, nach Osten, auf der anderen, auf welcher dieselben untergehen, nach Westen.

Jeder Stern steht dann am höchsten über einem Orte der Erde, wenn er bei seinem täglichen scheinbaren Umlaufe um die Erde oberhalb durch den Meridian des Ortes geht. Man sagt dann: er culminirt. Die näheren Verhältnisse der Culmination finden sich in dem Art. Culmination Bd. I. S. 1015. Da dies auch in Bezug auf die Sonne gilt, und diese Mittag macht, wenn sie ihren höchsten Stand erreicht hat, so ist für alle Orte unter demselben Meridiane zu gleicher Zeit Mittag. Eben daher hat dieser größte Kreis seinen Namen.

Da die Sonne ferner den Schatten der Gegenstände auf der Erde bewirkt, und dieser stets nach der Seite fällt, welche vom Gegenstande aus gerechnet der Sonne abgewendet ist, so wird offenbar der Schatten eines Körpers gerade in die Mittagslinie fallen, sobald die Sonne durch den Meridian des Ortes geht, an welchem der Körper steht. Hierdurch erhält man ein Mittel, die Culmination der Sonne zu erkennen. Schon die Alten pflegten Säulen aufzurichten, hinter welchen in der Richtung nach Norden die Mittagslinie auf dem Erdboden bezeichnet war, und sie erkannten die Zeit des Mittags aus dem Zusammenfallen des Schattens mit dieser Linie. Solch ein Zeiger, der sich übrigens bei jeder Sonnenuhr findet, hieß ein Gnomon (v. d. griech. γνώμων, Zeiger).

Da im Art. Gnomon auf Art. Meridian verwiesen ist, so müssen wir hier noch einiges Nähere mittheilen. Der Gnomon bestand aus einem geraden Stabe oder aus einer spitzen Säule, auf einer horizontalen Ebene vertical stehend. Die Höhe des Gnomons mußte möglichst groß sein, weil dann die Schattenspitze sich möglichst schnell bewegt und dann die Beobachtung mit größerer Genauigkeit ausgeführt werden konnte. Eine scharfe Bestimmung war hierbei jedoch immer

noch nicht möglich, da der Halbschatten störend wirkte. Deßhalb ist es vortheilhaft, an der höchsten Spitze des Gnomons eine dünne Metallplatte anzubringen mit einer kleinen runden Oeffnung und statt des Schattens selbst das durch diese Oeffnung im Schatten erzeugte Sonnenbild zu beobachten. So verfuhr z. B. Paul Toscanelli, der im Jahre 1467 in der Kuppel der Kathedrale zu Florenz in einer Höhe von 277 Fuß über dem Fußboden der Kirche eine Oeffnung anbringen ließ, durch welche das Sonnenbild auf den gegenüberliegenden Fußboden der Kirche fiel. Gassendi errichtete 1636 einen Gnomon von 51 F. Höhe zu Marseille in der Kirche des Oratoriums; Ignatio Danti von 67 Fuß Höhe zu Bologna in der Kirche des heiligen Petronius; Bianchini einen von 62 und einen zweiten von 75 Fuß Höhe zu Rom in der Karthäuserkirche; Sully und le Monnier von 80 Fuß zu Paris in der Kirche des heiligen Sulpitius; Cesaris und Reggio im Jahre 1786 zu Mailand in der Kathedrale. Nach dem Berichte des Jesuiten Gaubil hat bereits 1100 Jahre vor unserer Zeitrechnung der Kaiser Tschu-Kong in China die Höhe der Sonne in ihren beiden Solstitien mittelst eines Gnomons beobachtet und zwar in der heutigen Stadt Honan-Fu in der Provinz Honan. Der Gnomon war 8 chinesische Schuh hoch. Im Jahre 320 v. Chr. beobachtete der Grieche Pytheas zu Marseille die Sonnenhöhe zur Zeit des Sonnensolstitiums an einem Gnomon von 120 Fuß Höhe. Unter Augustus wurde in Rom der 117 römische Fuß lange Obelisk, den Sesostris 967 v. Chr. in Aegypten errichten ließ, als Gnomon auf dem Marsfelde aufgestellt.

In neuerer Zeit hat man, da bei einer Oeffnung der Halbschatten immer noch störend wirkt, die durch die Mitte der kleinen kreisförmigen Oeffnung gehende Meridianebene durch einen verticalen Faden bezeichnet und die Beobachtung des Sonnenbildes an einer verticalen Wand gemacht. Einen solchen Gnomon nennt man Filar-Gnomon und Bohnenberger giebt dazu folgende Einrichtung an. Man befestigt ein Messingblech ungefähr mit der Weltaxe parallel, senkrecht auf die Meridianebene oberhalb eines nach Süden gelegenen Fensters. Diese Platte hat ein Loch von 1 Linie Durchmesser, an dessen oberem Theile eine Kerbe ist, die den oberhalb auf der Platte befestigten Metallfaden durchläßt. Der Faden geht im Zimmer nach der Richtung der Mittagslinie zu der gegenüberliegenden Wand hin, wo eine gegen den Meridian senkrechte Schraube befestigt ist, welche in einer Kerbe den Metallfaden aufnimmt, der vertical herabhängend durch ein Gewicht gespannt wird. Der Faden wird nun — indem man die Stellung der Schraube, wenn es nöthig ist, ein wenig ändert — in die Mittagslinie gebracht, und hinter dem Faden eine weiße Tafel aufgestellt, um das Vorübergehen des Sonnenbildes vor dem verticalen Faden zu beobachten.

Ein Ort, welcher ost- oder westwärts von einem anderen liegt, hat einen anderen Meridian als dieser. Sämmtliche Meridiane werden von dem Aequator und den diesem parallelen Kreisen, den sogenannten Parallelkreisen oder Breitenkreisen, geschnitten, und es liegt daher nahe, die Meridiane, wenn man einen derselben als Anfangsmeridian annimmt, nach den verschiedenen Abständen ihres Durchschnittspunktes mit dem Aequator von dem Durchschnittspunkte dieses Meridians mit dem Aequator zu zählen. Es ist alsdann nur noch näher zu bestimmen, welchen Meridian man als Anfangsmeridian nehmen will. So lange man sich mit Geographie beschäftigt hat, ist in dieser Beziehung keine Einigkeit

erreicht worden. Spanien allein rechnet von 7 verſchiedenen Meridianen an, nämlich von Cadix, Carthagena, Inſel Leon, Collegium der Adeligen zu Madrid, Punta de la Galera auf der Inſel Trinidad, Teneriffa und Ferro. Viele holländiſche Karten nehmen als Anfangsmeridian den an, welcher über den Pic von Teneriffa geht und 18° 59′ 52″ weſtlich von Paris angenommen wird. Einige ältere portugieſiſche Karten ſetzen den Anfangsmeridian auf die azoriſche Inſel Terceira, 9° 32′ 42″ weſtlich von Ferro, weil früher die magnetiſche Linie ohne Abweichung hier hindurchging. Aus demſelben Grunde nahm Mercator die Inſel Corvo an. Andere ältere holländiſche Karten legen den Anfangsmeridian auf die Inſel del Fuego oder St. Philipp beim grünen Vorgebirge. Am meiſten in Gebrauch als Anfangsmeridian iſt derjenige, welcher zugleich die alte und neue Welt am bequemſten auf zwei Halbkugeln vertheilt, nämlich der Meridian über die Inſel Ferro, 19° 57′ 30″ weſtlich von Paris, aber zur größeren Bequemlichkeit der Rechnung dient derjenige, welcher 2′ 30″ weſtlich von Ferro liegt, ſo daß ſich alſo Paris genau 20° öſtlich von demſelben befindet. Dieſe Annahme wurde in Frankreich von einer Geſellſchaft Mathematiker, welche der Cardinal Richelieu zuſammenberufen hatte, vorgeſchlagen und durch Ludwig XIII. am 25. April 1634 zur geſetzlichen Beſtimmung erhoben *). Die Aſtronomen zählten meiſtens die Erdmeridiane von ihren Sternwarten aus; allein jetzt beziehen die Aſtronomen des Continents meiſtens ihre Beobachtungen auf den Pariſer Meridian, die Engländer auf den von Greenwich, welcher 2° 20′ 23″ weſtlich von Paris liegt. Letzterer Meridian liegt meiſtens den Seekarten zu Grunde. Eine Angabe des Anfangsmeridians iſt auf jeder Karte nothwendig. Von dem Anfangsmeridiane aus theilt man den Aequator in 360 gleiche Theile (Grade und zwar Längengrade) und zählt entweder öſtlich und weſtlich bis 180° oder nur öſtlich bis 360°. Das Letztere iſt allemal anzunehmen, wo eine genauere Angabe der Richtung fehlt, nach welcher gezählt worden iſt.

Verſchieden von der durch die Erdmeridiane beſtimmten geographiſchen Länge eines Ortes iſt die aſtronomiſche Länge eines Geſtirnes, indem dieſe auf der Ekliptik und nicht auf dem Aequator gemeſſen wird (vergl. Artikel Breite, aſtronomiſche und geographiſche Bd. I. S. 904 und 905), während das Letztere bei der Rectaſcenſion oder der geraden Aufſteigung eines Geſtirnes geſchieht.

Die Beſtimmung der geographiſchen Länge eines Ortes iſt nichts anderes, als die Angabe nach Graden, Minuten, Secunden u. ſ. f. des Bogens, um welchen der Durchſchnittspunkt des Aequators mit dem Meridiane des zu beſtimmenden Ortes von dem Durchſchnittspunkte des Aequators mit dem als Anfangsmeridian angenommenen Meridiane entfernt iſt, oder des Winkels, unter dem ſich die Ebenen jener beiden Meridiane ſchneiden. Der Winkel, unter welchem ſich überhaupt irgend welche zwei Meridiane ſchneiden, heißt die Meridiandifferenz (lat. Unterſchied der Meridiane) der Orte unter jenen Meridianen.

*) Nach den Beobachtungen de Borda's und Pingre's (vergl. v. Zach's Monatliche Correſpond. XV. und XVI.) liegt die Oſtſpitze Ferro's 20° 17′ und ihre Weſtſpitze 20° 30′ weſtlich von dem Pariſer Meridiane, ſo daß der Anfangsmeridian 30′ öſtlicher als die Weſtſpitze ins offene Meer fiele.

Iſt die Länge eines Ortes A bekannt und gleich L, und eben ſo die Meridiandifferenz zwiſchen dieſem Orte und einem zweiten B gleich M, ſo giebt ſich hieraus die Länge von B, welche L' ſein möge, nämlich, wenn B öſtlich von A liegt:

$$L' = L + M$$

und wenn B weſtlich von A liegt:

$$L' = L - M.$$

Iſt L = 0, d. h. liegt A auf dem Anfangsmeridiane, ſo iſt die Meridiandifferenz M unmittelbar die Länge von B, öſtlich, wenn dieſelbe poſitiv, weſtlich, wenn ſie negativ iſt. Alle Längenbeſtimmungen ſind Beſtimmungen von Meridiandifferenzen.

Die Beobachtung der Meridiandifferenzen ſelbſt iſt vielen Schwierigkeiten unterworfen. Es bieten ſich hierzu im Allgemeinen zwei Wege dar, nämlich durch geodätiſche und aſtronomiſche Operationen.

Bei der geodätiſchen Beſtimmungsmethode würde man directe Meſſungen auszuführen haben. Auf der feſten Erdoberfläche ſind derartige Operationen allerdings möglich, aber es läßt ſich durch dieſelben nie eine große Genauigkeit erreichen, wie ſich leicht überſehen läßt, wenn man bedenkt, welche Unebenheiten auf der Erdoberfläche vorkommen, wie zuſammengeſetzt die ganze Arbeit und wie langwierig ſie ſein müßte, und endlich wie ungewiß wir ſelbſt noch in Bezug auf die eigentliche Geſtalt der Erde ſind. Wir verweiſen deshalb und wegen der geodätiſchen Meſſungen, die durch die ſogenannte Triangulation geſchehen, auf Art. Erde Bd. II. S. 875 bis 886; bemerken hier nur, daß auch im einfachſten Falle einer rein geodätiſchen Meſſung, d. h. wenn die Entfernung zweier genau in der Richtung von Oſt nach Weſt zu einander liegender Orte in Meilen ausgemeſſen wäre, man dieſe wieder in Graden ꝛc. ausdrücken müßte, daß die Anzahl der Meilen, welche auf einen Grad gehen, aber nach der geographiſchen Breite verſchieden iſt, worüber Art. Erde Bd. II. S. 884 u. S. 893 ebenfalls die näheren Angaben enthält.

Auf dem Meere laſſen ſich directe Meſſungen gar nicht vornehmen; da aber gerade für die Schiffer auf offener See eine Beſtimmung der geographiſchen Länge und Breite von der allergrößten Wichtigkeit iſt, ſo haben die ſeefahrenden Nationen auf alle mögliche Weiſe, ſelbſt durch bedeutende Belohnungen einfache Methoden zu gewinnen geſucht, die Meridiandifferenz zu beſtimmen. Philipp II. von Spanien ſetzte ſchon 1698 einen Preis für Auffindung einer ſolchen Methode aus; Holland bot 50000 Reichsthaler; unter der Königin Anna von England wurde von dem Parlament eine Belohnung von 10000 Pfund Sterling für denjenigen bewilligt, deſſen Methode die Länge bis auf 1 Grad genau beſtimmen, 15000 Pfd. St. für denjenigen, der nicht mehr als um 40 Minuten und 20000 Pfd. St. für den, welcher ſich um nicht mehr als $^1/_2$ Grad irren würde. Mit einer einzigen Methode reicht heute der Seemann noch nicht aus, ſeinen Ort genau zu beſtimmen, ſo daß er immer ſo viel als möglich Mittel, die ſich in ihren Ergebniſſen gegenſeitig controlliren, zu benutzen gezwungen iſt. Es führt uns dies zu dem zweiten oben angegebenen Wege, nämlich zu der Beſtimmung der Meridiandifferenz durch aſtronomiſche Operationen.

Das Weſentliche der aſtronomiſchen Methode beruht auf Zeitbeſtimmung und das wichtigſte Inſtrument hierbei iſt mithin eine genaue Uhr, worüber wir auf Art. Chronometer Bd. I. S. 972 verweiſen.

Stellt man ſich den ſcheinbaren Lauf der Sonne — oder irgend eines anderen Sternes — um die Erde vor, welcher binnen 24 Stunden zurückgelegt wird, ſo iſt klar, daß je mehr nach Weſten ein Ort liegt, deſto ſpäter die Sonne durch ſeinen Meridian gehen werde, oder daß, während z. B. die Sonne im Meridiane eines öſtlich von ihm gelegenen Ortes ſteht, ſie für ihn noch öſtlich, und wenn ſie im Meridiane eines weſtlich gelegenen Ortes ſteht, ſie für ihn weſtlich von dem Meridiane abweichen müſſe. Die Sonne ſtehe jetzt im Meridiane von Petersburg, ſo wird ſie erſt geraume Zeit nachher im Meridiane von Berlin ſtehen, und ſpäter im Meridiane von Paris, und noch ſpäter in dem von Liſſabon ꝛc., nach 24 Stunden aber ſteht ſie wieder in dem Meridiane von Petersburg. Da nun der ſcheinbare Gang der Sonne genau gleichmäßig iſt, und ſie in 24 Stunden rund um die Erde geht durch alle Meridiane, deren es 360 giebt, wenn man ſie Ein Grad von einander abſtehend nimmt, ſo werden von der Sonne folglich $\frac{360}{24} = 15$ Grad in Einer Stunde zurückgelegt. Geſetzt, man befinde ſich an einem Orte A und beſitze eine ſehr genau gehende Uhr, welche alſo 12 Uhr zeigte in demſelben Augenblicke, in welchem die Sonne durch den Meridian des Ortes A ging. Man verändere nichts im Gange der Uhr und begebe ſich vorwärts nach dem Orte B, ſo wird auch hier nach wie vorher die Uhr auf 12 ſtehen in dem Augenblicke, in welchem die Sonne durch den Meridian von A geht, aber offenbar wird dann die Sonne noch nicht in dem Meridiane von B ſtehen, ſondern hier erſt nach einiger Zeit, wenn die Uhr ſchon über 12 hinausgegangen iſt. Geſetzt, die Sonne gehe durch den Meridian von B um 1 Uhr nach der mitgebrachten Uhr, ſo folgt hieraus nach dem Früheren, daß die beiden Orte A und B eine Meridiandifferenz von 15 Grad haben.

Dieſe Methode der Beſtimmung der Meridiandifferenz mittelſt tragbarer Uhren ſcheint hiernach äußerſt leicht zu ſein. Der aus Greenwich z. B. abfahrende Schiffer nimmt eine genau richtig nach Greenwicher Zeit gehende Uhr mit, welche alſo immer auf 12 Uhr zeigt, ſobald in Greenwich Mittag iſt; befindet er ſich nun auf irgend welchem Punkte der Erde, ſo darf er nur den Stand der Sonne oder den irgend ſonſt eines Sternes beobachten, um daraus auf die Zeit des Ortes, an dem er ſich befindet, zu ſchließen, und die ſo gefundene Zeit $= Z'$ Stunden mit der von der Greenwicher Uhr angegebenen Zeit $= Z$ Stunden vergleichen. Die Meridiandifferenz des Ortes, an welchem er ſich befindet, und von Greenwich iſt dann $15\,(Z - Z')$ Grad weſtlich, wenn $Z > Z'$ und öſtlich, wenn $Z < Z'$ iſt. Die große Schwierigkeit aber, welche noch zu überwinden bleibt, iſt die Herſtellung von Uhren, welche Wochen, Monate und Jahre lang mit gleicher Genauigkeit gehen, worüber wir nochmals auf Art. Chronometer verweiſen, und nur noch bemerken, daß man bei Längenbeſtimmungen zur See gut thut, mehrere Chronometer zu benutzen. Auf dem feſten Lande, wenn an jedem der Orte, deren Meridiandifferenz beſtimmt werden ſoll, eine genau gehende Uhr ſich befindet, welche an jedem Orte zur Zeit der Culmination der Sonne 12 Uhr zeigt, braucht man nur die Differenz im Stande der Uhren zu ermitteln, da dieſer ſich bei genau gehenden Uhren gleich bleiben wird. Es kömmt alſo nur darauf an, die Uhren zu vergleichen. Ein Mittel wäre die eine Uhr zur anderen zu bringen, ohne daß eine Störung im Gange derſelben eintritt. Dies bedarf ſelbſtverſtändlich große

Vorsicht. Es bietet sich indessen ein anderer Weg dar, bei welchem dies nicht nöthig ist, nämlich daß man an jedem der beiden Orte irgend ein Phänomen beobachtet, welches an beiden zu derselben Zeit eintritt, und den Augenblick aufzeichnet, in welchem dasselbe sichtbar wurde; die Verschiedenheit der Zeitangaben wird alsdann die Meridiandifferenz beider Orte angeben. Da Himmelserscheinungen sehr weit sichtbar sind, so werden gewöhnlich diese zur Längenbestimmung entfernter Orte benutzt, und da dieselben im Voraus nach ihrem Eintreten bekannt sind, so können die Zeitpunkte, zu welchen sie eintreten, für einen bestimmten Ort, z. B. für Greenwich, in Tafeln berechnet werden. Der Reisende, der diese Tafeln mit sich führt, braucht nur zu beobachten, welche Stunde, Minute und Secunde die Uhr des Ortes, an dem er sich befindet, in dem Augenblicke anzeigt, wo das Phänomen eintritt, und kann dann berechnen, wie groß die Meridiandifferenz von Greenwich ꝛc. sei. Es fragt sich nun, welches sind derartige Phänomene? 1) Mondfinsternisse, 2) Verfinsterungen der Jupiterstrabanten, 3) Lichtsignale und neuerdings sind noch dazu gekommen 4) Signale mittelst der elektrischen Telegraphen.

1) Der Anfang und das Ende der Mondfinsternisse wird überall auf der Erde, wo die Verfinsterung sichtbar ist, zu gleicher Zeit bemerkt, und für die meisten größeren Orte, in denen Sternwarten sich befinden, haben die Astronomen schon lange voraus die Augenblicke berechnet, in welchen dieser und jener bestimmte Flecken des Mondes zuerst von dem Schatten der Erde berührt wird. Wenn nun ein Seefahrer einen dieser Momente der Verfinsterung genau beobachtet, und dabei die Zeit, welche ihm seine Uhr angiebt, z. B. 12 Uhr 11 Minuten, mit derjenigen vergleicht, die zu gleicher Zeit, z. B. die Pariser Uhr zeigen müßte, z. B. 1 Uhr 23 Min.; so weiß er den Zeitunterschied von Paris und seinem Schiffe, in diesem Falle 1 St. 12 Min. und folglich auch die Meridiandifferenz, nämlich 18 Grad westlich von Paris. Ein wesentlicher Vortheil ist, daß hierbei keine vollkommene astronomische Uhr erforderlich ist, wofern sie nur genau nach dem Mittag des Ortes gerichtet wird, an dem man sich befindet, weshalb der Gang der Uhr vorher zu prüfen ist. Da der Schatten der Erde auf dem Monde nicht scharf begrenzt, sondern von einem verwaschenen Rande umgeben ist, der sich allmälig verliert, so kann das Ergebniß einer solchen Beobachtung nicht scharf sein, wenigstens nicht bis auf die Secunde genau. Ueberdies ist das Eintreten der Mondfinsternisse nicht häufig, so daß man dieselben nur vorkommenden Falls als Controlle benutzt, namentlich auf Sternwarten.

2) Die Verfinsterung der Jupiterstrabanten sind gleichfalls im Voraus für alle großen Orte, z. B. Paris, Berlin ꝛc. berechnet. Ein Vortheil ist hier, daß, da der Jupiter vier Monde hat, sich fast alle Nächte, falls der Jupiter natürlich überhaupt sichtbar ist, eine — oft auch mehrere — Finsterniß einstellt. Die Ermittelung der Meridiandifferenz ist hier wie bei den Mondfinsternissen; indessen auch keiner besonderen Genauigkeit fähig, da man den Anfang und das Ende der Verfinsterung wegen der großen Entfernung nicht beobachten kann.

3) Als Lichtsignale hat man Verschiedenes benutzt.

a) Pulversignale bestehen in dem Losbrennen einer kleinen Menge Schießpulvers des Nachts in freier Luft und sind wenigstens für solche Orte

brauchbar, die nicht allzuweit von einander entfernt sind *). Zwei Beobachter kommen mit einander überein, daß der eine auf dem Berge A, und der andere auf dem Berge B, welche beide von einander sichtbar sein müssen, in einer gewissen Nacht und zu einer bestimmten Zeit ein solches Signal geben wolle. Jeder Beobachter hat seine Uhr nach dem Meridiane seines Berges, z. B. nach dem Augenblicke, in welchem ein bestimmter Stern, über den sie übereingekommen sind, durch den Meridian geht, gestellt, so daß sie z. B. in dem Augenblicke der Culmination dieses Sternes genau 12 Uhr zeigt. Beide merken nun genau die Zeit an, sowohl wenn die Pulvermassen abgebrannt, als wenn sie beobachtet worden. Hat nun z. B. der in A, wenn er seine Masse anzündet, 10 Uhr 4 Minuten, und der in B, wenn er dies Abbrennen bemerkt, 10 Uhr 14 Min., so ergiebt sich ein Zeitunterschied von 10 Minuten, welche B vor A voraus hat, und folglich ist B $2^1/_2{}^0$ östlicher gelegen. Ein Pulverquantum von 4 bis 6 Loth hat man auf 8 und mehrere Meilen weit bei Nacht mit unbewaffnetem Auge abbrennen sehen, 12 bis 16 Loth über 30 Meilen weit. Mit einem Signale begnügt man sich in solchem Falle nicht, sondern umsichtig wird an dem einen und an dem anderen Orte etwa von 5 Minuten zu 5 Minuten ein solches Signal gegeben, und selbstverständlich wählt man möglichst dunkle und nebelfreie Nächte. Auch ist es zweckmäßig, bei der Bestimmung der Meridiandifferenz zweier Orte die Signale an einer Zwischenstation zu geben, da man hierdurch die Bestimmung für zwei entferntere Orte ermöglicht, jedenfalls aber das Aufflammen sicherer wahrnimmt. Solche Pulversignale, welche auf der Schneekoppe des Riesengebirges abgebrannt und zu Prag auf dem Lorenziberge beobachtet wurden, hat man zur Bestimmung der Länge dieser beiden Punkte benutzt. Eben so hat man sie angewandt zur Bestimmung der Länge von München, Wien und Ofen; desgleichen 1824 in Beziehung auf Tübingen, Mannheim, Speier und Straßburg, ferner zur Bestimmung der Länge von Paris und Greenwich.

b) Daß man in gleicher Weise sich der Raketen bedienen kann, versteht sich von selbst, sie bieten sogar noch den Vortheil, daß man, da sie 8000 bis 9000 Fuß hoch steigen, auf größere Entfernungen signalisiren kann, ja, wenn man sie auf Bergen steigen läßt, bis auf 50 bis 60 Meilen. Am 6. Mai 1822 wurde auf diese Weise die Meridiandifferenz von Wien und Neustadt bestimmt.

c) Auch das Heliotroplicht (s. Art. Heliotrop Bd. III. S. 787) läßt sich hierzu benutzen, wenn man vor dem Spiegel eine ausgeschnittene Scheibe durch ein Uhrwerk sich drehen läßt, so daß etwa alle halbe oder ganze Secunden das Licht abwechselnd erscheint, oder verschwindet **).

4) Mittelst der elektrischen Telegraphen kann man zu jeder Zeit Signale geben. Wir verweisen auf Art. Telegraphie und bemerken hier nur, daß man neuerdings die Sternwarten zu Paris und Greenwich in die erforderliche Verbindung gesetzt hat.

Außer den vorstehenden Mitteln, die Meridiandifferenz zu bestimmen, die sofort die Zeitdifferenz angeben, hat man noch andere Phänomene benutzt, die

*) v. Zach, Monatl. Corresp. Bd. X. S. 130; Bd. XXVII. S. 287.

**) Astron. Nachrichten von Schumacher Nr. 351 und 352; desgl. Egen ebenda Nr. 171 und 172.

aber noch andere Berechnungen erfordern. Es ſind dies 1) Sonnenfinſterniſſe, 2) Sternbedeckungen, 3) correſpondirende Mondculminationen und 4) Monddiſtanzen.

1) Die Sonnenfinſterniſſe treten nicht allenthalben gleichzeitig ein (ſ. Art. Sonne), erfordern wegen der Parallaxe des Mondes noch eine beſondere Berechnung, gewähren aber, da ſich namentlich das Ende der Finſterniß mit großer Präciſion beobachten läßt, genaue Reſultate. Wegen ihrer Seltenheit gilt von ihnen daſſelbe, was oben bei den Mondfinſterniſſen bemerkt wurde.

Die Durchgänge des Merkur und der Venus durch die Sonne gewähren dieſelben Mittel, ſind aber noch ſeltener, mögen hier aber der Vollſtändigkeit wegen nicht unerwähnt bleiben.

2) Die Sternbedeckungen, welche hier in Betracht kommen können, betreffen die Bedeckung der Planeten und Fixſterne durch den Mond, von denen die letzteren ſehr häufig vorkommen. Die Bedeckung eines Planeten durch einen anderen gehört zu den allergrößten Seltenheiten. Da der Mond der Erde im Vergleich mit den übrigen Himmelskörpern ſo nahe ſteht, daß ſein Stand für zwei ziemlich weit aus einander liegende Punkte der Erdoberfläche in ein und demſelben Augenblicke ſehr verſchieden erſcheint, ſo hat man bei einer eintretenden Bedeckung wiederum die Parallaxe zu berückſichtigen. Die Bedeckung läßt ſich voraus berechnen, und in den aſtronomiſchen Ephemeriden pflegt man dieſelben anzuführen. Die Beobachtung eines beſonderen Eintritts läßt ſich mit großer Schärfe machen, und daher benutzt man dieſelben eben zu Beſtimmungen der Meridiandifferenz. Auf der See iſt dieſe Methode nicht anwendbar.

3) Correſpondirende Mondculminationen ſtellt man mit einem genau berichtigten Mittagsfernrohre an und berechnet dann die Rectaſcenſion des Mondes. Mit Hülfe der für einen Ort berechneten Ephemeriden ermittelt man die Zeitdifferenz und hieraus die Meridiandifferenz. Daß man durch Beobachtung correſpondirender Höhen in Ermangelung eines Mittagsfernrohres ſich helfen kann, um die Zeit der Culmination zu finden, bedarf kaum der Erwähnung *).

4) Monddiſtanzen, d. h. die ſcheinbaren Abſtände des Mondes von der Sonne, oder einem Planeten, oder einem Fixſterne, kann man für jeden Tag und für jede Stunde im Voraus berechnen und dergleichen Berechnungen ſind ſchon längſt für die Meridiane bekannter Sternwarten bekannt gemacht worden. Der Seemann beſtimmt den Winkelabſtand des Mondes und eines beſtimmten Sternes mit Hülfe des Sextanten, während zwei Gehülfen die Höhe des Mondes und des Sternes meſſen. Gewöhnlich macht man 4 bis 5 Beobachtungen nach einander, aus denen man dann das Mittel nimmt. Bei jeder Beobachtung wird natürlich die Zeit beſtimmt, und indem man aus den Tafeln erſieht, wie groß zu derſelben Zeit an der Sternwarte, für welche die Tafeln berechnet ſind, die Monddiſtanz geweſen ſein würde, hat man die zur Berechnung der Meridiandifferenz nöthigen Data, wobei man die Parallaxe des Mondes wiederum nicht unberückſichtigt laſſen darf.

Die erſten vollſtändigen Mondstafeln, in welchen der Lauf, die Stellung

*) Schumacher's aſtron. Nachrichten. Bd. I. S. 7. 356; Bd. II. S. 17.

des Mondes gegen die Sonne, die bekannteſten Fixſterne und gegen die Planeten auf jeden Tag, jede Stunde und Minute im Jahre für einen bekannten Meridian berechnet iſt, verdanken wir Tobias Mayer im Jahre 1755, nachdem ſchon lange vorher dahin zielende Vorſchläge gemacht worden waren *). Dieſe Mayer'ſchen Tafeln wurden ſpäter durch die Berechnungen anderer Aſtronomen, namentlich Laplace's und Bürg's **) noch mehr vervollkommnet. Die Methode liefert genaue Reſultate; wenn auch nicht ſo ſcharfe wie die der Sternbedeckungen, und hat den großen Vorzug, daß ſie mit Ausnahme der Zeit des Neumondes jederzeit ausführbar iſt.

Mit der Berechnung der Meridiandifferenz aus Monddiſtanzen hat man ſich vielfach beſchäftigt, um den Seeleuten dieſelbe möglichſt zu erleichtern, obgleich es nur auf die Auflöſung zweier ſphäriſcher Dreiecke ankommt, welche einen Winkel gemein haben, deſſen einſchließende Seiten veränderlich ſind. Dennoch fehlt es noch an einer Methode, welche vollſtändige Genauigkeit und Leichtigkeit vereinte, weil man auch auf Temperatur und Barometerſtand, da dieſe auf die Refraction Einfluß ausüben, Rückſicht nehmen müßte, was bisher nicht geſchehen iſt; eben ſo pflegt man keine Correction wegen der Abplattung der Erde anzubringen, wiewohl dadurch ein Fehler von 4 bis 5 Meilen herbeigeführt werden kann ***).

Ein Verzeichniß der geographiſchen Länge einer großen Anzahl Stellen der Erdoberfläche enthält Art. Erde Bd. II. S. 894.

Kömmt es darauf an, die Mittagslinie an einem beſtimmten Orte zu verzeichnen, was in vielen Fällen nöthig iſt, z. B. bei der Aufſtellung einer Sonnenuhr, eines Paſſageninſtrumentes, eines Meridiankreiſes, eines Erd- oder Himmelsglobus, falls dies genau ſein ſoll, bei der Aufſtellung eines Gnomens ꝛc., ſo kann man verſchiedene Wege einſchlagen. Ungefähr erhält man die verlangte Richtung, wenn man ein Fernrohr mit einer Verticalbewegung, z. B. an einem Theodolithen, nach dem Polarſterne richtet und nun durch das Rohr eine verticale Ebene legt. Eben ſo kann man das Fernrohr nach der Sonne richten im Augenblicke der Culmination. Iſt ein nach Süden liegendes Fenſter vorhanden, oder ſoll die Beſtimmung im Freien geſchehen, ſo errichte man auf einer horizontalen Platte einen verticalen Stift, der am oberen Ende eine dünne Metallplatte mit einem kleinen Loche trägt, ſchlage um den Fußpunkt mehrere concentriſche Kreiſe und beobachte an einem heiteren Tage die Stellen in jenen Kreiſen, in welche das durch die Oeffnung fallende Sonnenbildchen hintrifft. Halbirt man den Winkel, welchen zwei auf demſelben Kreiſe liegende Stellen mit dem Fußpunkte bilden, ſo erhält man genau die Richtung der Mittagslinie. — Beobachtet man am Tage der Frühlings- oder Herbſt-Tag- und Nachtgleiche die Richtung, in welcher die Sonne auf- oder untergeht, und errichtet auf dieſer Richtung im Horizonte eine ſenkrechte Linie, ſo giebt dieſe ebenfalls ziemlich genau die Mittagslinie. Soll dieſelbe ganz genau ſein, ſo ſind immer aſtronomiſche Beobachtungen noch erforderlich.

*) v. Zach a. a. O. Bd. IV. S. 625.
**) v. Zach a. a. O. Bd. IV. u. V.
***) v. Zach's monatl. Correſp. Bd. XXII. S. 301. Beſſel in Schumacher's aſtron. Nachr. Nr. 218—220. Grunert ebend. Nr. 429. Rümker's Handbuch der Schifffahrtskunde. 4. Aufl. Hamburg 1844. S. 213.

Schließlich müſſen wir noch darauf aufmerkſam machen, daß die Bewohner der entgegengeſetzten Hälften deſſelben Meridians, d. h. deren Meridiandifferenz 180° beträgt, in ihrer Zeit immer um 12 Stunden aus einander ſind. Da nun nach den Inſeln des ſtillen Oceans die Cultur von Europa gebracht iſt, ſo macht es einen Unterſchied, ob dieſelbe von Oſten oder Weſten gekommen iſt. So iſt es fraglich, welchen Wochentag unſere Antipoden heute haben. Kam die Bezeichnung der Wochentage von Oſten, ſo war dieſelbe mit einem Entgegenkommen gegen die Culminationszeit der Sonne verbunden und derſelbe Wochentag beginnt alſo dort 12 Stunden früher als bei uns; kam dieſelbe von Weſten, ſo war es umgekehrt, und derſelbe Wochentag beginnt 12 Stunden ſpäter als bei uns. Daher kann es kommen, daß im ſtillen Oceane auf nicht weit aus einander liegenden Inſeln gleichzeitig zwei verſchiedene Wochentage eingeführt ſind.

Eben ſo müſſen wir noch des Einfluſſes der Meridiandifferenz auf uns näher liegende Verhältniſſe erwähnen. Eine Meridiandifferenz von einem Grade bedingt eine Zeitdifferenz von 4 Minuten. Es bleibt alſo nicht gleichgültig, ob z. B. bei einem Poſtcurſe oder Eiſenbahncurſe die Zeit nach den Endſtationszeiten gerechnet wird oder nach einer Normaluhr. Von Berlin bis Danzig iſt eine Zeitdifferenz von 21 Minuten, alſo würde von Berlin bis Danzig die Poſt oder der Eiſenbahnzug 21 Minuten weniger Fahrzeit zugeſtanden erhalten und von Danzig nach Berlin 21 Minuten mehr, wenn nicht nach einer Normaluhr, welche die Fahrt mitzumachen hat, gerechnet werden würde. H. E.

Metallbaum, Metallvegetation nennt man die baumartig verzweigten Niederſchläge von Metallen, welche bisweilen entſtehen, wenn man ein Metall durch ein anderes aus ſeinen Löſungen niederſchlägt. Die bekannteſten ſind der Bleibaum, der entſteht, wenn man eine Zinkſtange in einer verdünnten Auflöſung von eſſigſaurem Bleioxyd aufhängt, und der Silberbaum oder Dianenbaum, der ſchon 1567 von Porta beſchrieben wurde. Man erhält ihn, wenn man in eine verdünnte Auflöſung von ſalpeterſaurem Silberoxyd ein wenig Silberamalgam thut. Zink und Queckſilber entziehen hier dem Blei und Silberoxyd den Sauerſtoff, ſo daß ſich beide Metalle niederſchlagen. Dieſe Niederſchläge beſitzen dann nur einen ſehr loſen Zuſammenhang, ſo daß ſie bei der leiſeſten Berührung aus einander fallen. Von einem Eiſenbaum ſprechen ſchon Glauber und Kemery. Bei der Darſtellung des Cäment-Kupfers im Großen treten gleichfalls häufig baumartig verzweigte Niederſchläge auf, die aber einen feſten Zuſammenhang und oft eine bedeutende Größe beſitzen. Man zweifelte daran, ähnliche Bildungen bei Verſuchen im Kleinen erzeugen zu können. Dies gelang zuerſt Wach *). — Einige Metalle, z. B. Kupfer, Gold, Silber kommen in ähnlichen Bildungen noch in der Natur vor. W. B.

Metalle und Metalloide. In dieſe beiden Abtheilungen zerfallen die in der Natur vorkommenden einfachen Körper, die ſogenannten chemiſchen Elemente. Zu den Metallen (von *μετ' ἄλλα*, weil das Vorkommen eines Metalles nie vereinzelt auftritt, ſondern die Gänge deſſelben hinter einander gefunden werden) gehören hiervon 46 und zwar:

*) Schweigger's Journal. Bd. LVIII. S. 40.

1) Kalium,	13) Erbium,	25) Wismuth,	37) Wolfram,
2) Natrium,	14) Cerium,	26) Uran,	38) Molybdän,
3) Lithium,	15) Lanthan,	27) Kupfer,	39) Tellur,
4) Baryum,	16) Didym,	28) Silber,	40) Platin,
5) Strontian,	17) Zirkonium,	29) Queckſilber,	41) Rhodium,
6) Calcium,	18) Mangan,	30) Zinn,	42) Palladium,
7) Magneſium,	19) Eiſen,	31) Antimon,	43) Iridium,
8) Aluminium,	20) Kobalt,	32) Titan,	44) Osmium,
9) Beryllium,	21) Nickel,	33) Tantal,	45) Ruthenium,
10) Thorium,	22) Zink,	34) Stirbium,	46) Gold.
11) Yttrium,	23) Kadmium,	35) Chrom,	
12) Terbium,	24) Blei,	36) Vanadin,	

Die übrigen 14 Elemente rechnet man zu den Metalloiden, d. h. den metallähnlichen Körpern (von *μετάλλος* und *εἶδος*); dieſe ſind:

1) Sauerſtoff,	5) Selen,	9) Jod,	13) Bor,
2) Waſſerſtoff,	6) Stickſtoff	10) Fluor,	14) Silicium.
3) Kohlenſtoff,	7) Chlor,	11) Phosphor,	
4) Schwefel,	8) Brom,	12) Arſenik,	

Eine beſſere Benennung für dieſe Gruppe wäre ohne Zweifel: Nichtmetalle. Allenfalls könnte man: Waſſerſtoff, Kohlenſtoff, Stickſtoff, Phosphor, Arſen, Bor und Silicium Metalloide nennen; während Chlor, Fluor, Brom, Jod, Schwefel, Selen und Sauerſtoff die Gegenſätze zu den eigentlichen Metallen bilden.

Eine ſcharfe Grenze läßt ſich zwiſchen beiden Gruppen nicht ziehen; daher finden wir auch in den verſchiedenen Lehrbüchern der Chemie einige Elemente bald in dieſer, bald in jener Gruppe. In neueſter Zeit ſind es hauptſächlich noch 3 Elemente: Selen, Tellur und Arſenik, deren Stellung zweifelhaft iſt. Alle drei beſitzen Metallglanz, aber in ihren chemiſchen Eigenſchaften ſtehen ſie dem Schwefel und dem Phosphor, die unbedingt zu den Nichtmetallen gerechnet werden, ſehr nahe. In neueſter Zeit wird ſogar auch das Silicium von Gore *) als Metall angeführt. Deſſenungeachtet behält man jedoch dieſe Eintheilung bei, weil ſie ein nützliches Hülfsmittel beim Studium der einfachen Körper gewährt.

Als Hauptunterſcheidungszeichen der Metalle von den Nichtmetallen ſieht man folgende phyſikaliſche Eigenſchaften an:

1) Undurchſichtigkeit. Eine Ausnahme macht hier das Gold. Zu ſehr dünnen Blättern ausgeſchlagen, iſt es durchſcheinend und zwar mit einer ſchönen grünen Farbe.

2) Metallglanz, ein eigenthümlich lebhafter Glanz, der ſchwer zu beſchreiben, aber Jedermann bekannt iſt. Er zeigt ſich beſonders auf Kryſtallflächen und nach dem Schmelzen. In pulverförmigem Zuſtande beobachtet man an den Metallen dieſen Glanz nicht; er läßt ſich aber ſehr leicht hervorrufen, wenn man das Pulver mit einem harten, polirten Körper reibt. Dieſer eigenthümliche Glanz ſcheint, zum Theil wenigſtens, von der großen Undurchſichtigkeit der Metalle herzurühren. Außer dem Selen und Arſen beſitzt unter den Nichtmetallen auch die Kohle in ihrer Modification als Graphit und Jod einen deutlich ausgeſprochenen Metallglanz.

*) Phil. Mag. Vol. VII. p. 227.

3) Eine bedeutende Leitungsfähigkeit für Wärme und Elektricität. Auch hier finden ſich bei den verſchiedenen Metallen große Unterſchiede. In Bezug auf die Wärme iſt es wichtig, dieſe zu kennen, da wir uns der metallenen Gefäße bei den verſchiedenſten Operationen bedienen. Kommt es z. B. darauf an, Flüſſigkeiten zu verdampfen oder zum Kochen zu bringen, ſo würden hierzu am beſten diejenigen Metalle zu verwenden ſein, deren Wärmeleitungsvermögen ſehr groß iſt, denn dieſe laſſen, bei gleicher Dicke, in einer beſtimmten Zeit eine größere Wärmemenge hindurch, als andere Metalle, deren Wärmeleitungsvermögen geringer iſt. Die folgenden Zahlen geben hierüber näheren Aufſchluß:

Gold	200	Zink	73
Silber	195	Zinn	61
Kupfer	180	Blei	36
Eiſen	75		

Nur diejenigen Metalle ſind gute Leiter der Wärme und Elektricität, welche ſich in großen zuſammenhängenden Maſſen darſtellen laſſen. Eine große Zahl derſelben kennt man bis jetzt jedoch nur in Pulverform und dieſe leiten die Wärme und Elektricität nur in einem geringen Grade, während von den Nichtmetallen ſtark ausgeglühte Holzkohle die Elektricität ziemlich gut leitet.

4) Geſchmeidigkeit, d. h. die Fähigkeit, unter einem gewiſſen Druck die Form bleibend zu verändern, ohne daß dadurch der Zuſammenhang unter den einzelnen Theilchen aufgehoben wird. Einige Metalle (Tellur, Antimon, Wismuth z. B.) beſitzen dieſe Eigenſchaft in einem ſo geringen Grade, daß ſie ſich mit Leichtigkeit pulvern laſſen. Wir haben hier die Hämmerbarkeit und Dehnbarkeit zu unterſcheiden, d. h. einige Metalle laſſen ſich zu dünnen Blechen ausſchlagen oder auswalzen oder zu Drähten ausziehen. Beide Eigenſchaften findet man nicht immer, wie beim Gold, Silber und Platin vereinigt. Dieſe für das praktiſche Leben ſehr wichtigen Eigenſchaften werden bei gewiſſen Metallen durch geringe Mengen fremder Einmengungen ſehr beeinträchtigt.

5) Ein hohes ſpecifiſches Gewicht. Auch hier finden ſich zahlreiche Ausnahmen: die Metalle der Erden, der alkaliſchen Erden und der Alkalien. Kalium und Natrium z. B. ſind leichter als Waſſer.

Nur ſehr wenige Metalle kommen als ſolche, d. h. im gediegenen Zuſtande, in der Natur vor. Zumeiſt treten ſie in Verbindung mit Sauerſtoff, Schwefel und Arſenik oder auch als Salze auf. Von der Darſtellung der Metalle im Großen aus ihren Verbindungen handelt eine eigene Wiſſenſchaft, die Metallurgie (von *μετάλλος*, Metall, Erz und *ἔργειν*, darſtellen, bearbeiten). Als Hauptlehrbücher dieſer Wiſſenſchaft führen wir an: Karſten's Syſtem der Metallurgie, geſchichtlich, ſtatiſtiſch, theoretiſch und techniſch dargeſtellt; Rammelsberg's Metallurgie; Scheerer's Lehrbuch der Metallurgie, mit beſonderer Hinſicht auf chemiſche und phyſikaliſche Principien; Kerl's Lehrbuch der Hüttenkunde.

Mit Ausnahme des Queckſilbers ſind ſämmtliche Metalle feſte Körper. Eben ſo beſitzen alle Metalle die Eigenſchaft zu kryſtalliſiren. Es iſt jedoch nicht leicht, die Bedingungen herbeizuführen, unter denen ſie eine regelmäßige Form annehmen. Die gediegenen Metalle kommen häufig in ſehr ſchönen Kryſtallen vor. Andere kryſtalliſiren beim langſamen Erkalten nach dem Schmelzen Am beſten gelingt dies beim Wismuth, ſchwieriger beim Antimon, Blei und Zinn. Mitunter bilden

ſich auch, wie z. B. beim Eiſen in den Hohöfen, Kryſtalle inmitten einer feſten Maſſe, wenn dieſe längere Zeit hindurch einer hohen Temperatur ausgeſetzt iſt. Mit Hülfe eines ſchwachen elektriſchen Stromes gelingt es von einer großen Zahl der Metalle wie deren Auflöſungen Kryſtalle zu erzeugen, die freilich oft ſo klein ſind, daß man ſie nur durch eine Lupe erkennen kann. Die Metalle kryſtalliſiren gemeinhin teſſeral, wie Kupfer, Silber, Gold, Platin, Iridium, Palladium, Queckſilber oder hexagonal (rhomboëdriſch), wie Wismuth, Antimon und Tellur; nur das Zinn allein kryſtalliſirt quadratiſch. Die kryſtalliniſche Structur übt einen großen Einfluß auf die Geſchmeidigkeit der Kryſtalle aus; je mehr jene ausgebildet iſt, deſto geringer iſt dieſe.

Die Farbe der meiſten Kryſtalle, beſonders im gepulverten Zuſtande, iſt grau, mehr oder weniger dunkel; bei zuſammenhängenden, polirten Maſſen wird die Farbe weißer. Einige wenige Metalle indeſſen beſitzen, wie bekannt, eine deutlich ausgeſprochene Farbe. Im Allgemeinen beſitzen die Metalle keinen Geruch. Einige jedoch (Zinn, Kupfer, Eiſen, Blei) verbreiten einen unangenehmen Geruch, beſonders wenn man ſie mit der Hand reibt. Einige Metalle beſitzen auch einen eigenthümlichen, unangenehmen Geſchmack. — Obgleich es bis jetzt nicht gelungen iſt, alle Metalle zu ſchmelzen, ſo kann man doch behaupten, daß alle Metalle in der Hitze ſchmelzen. Die Temperatur, bei der dies geſchieht, iſt eine ſehr verſchiedene. Queckſilber wird z. B. bereits bei — 39° flüſſig; Kalium ſchmilzt bei + 55° und Gußeiſen erſt bei 1915°. Eben ſo können die meiſten Metalle bei ſehr hohen Temperaturen (im Knallgasgebläſe) verflüchtigt werden; beim Queckſilber und Zink tritt dies bereits bei einer ziemlich niedrigen Temperatur ein.

Auch durch ihre chemiſchen Eigenſchaften ſind die Metalle nicht ſcharf von den Nichtmetallen geſchieden. Man führt auch hier verſchiedene Eigenſchaften der Metalle an, die aber gleichfalls Ausnahmen erleiden. So z. B. ſagt man von den Metallen, daß ſie ſich nicht mit Waſſerſtoff verbinden, man kennt jedoch ſolche Verbindungen bei dem Antimon und Tellur, die gemeinhin zu den Metallen gerechnet werden. Als Hauptunterſchiede der Metalle führt man ferner an, daß ſie mit dem Sauerſtoff baſiſche Verbindungen liefern, während die Verbindungen der Nichtmetalle mit dieſem Elemente indifferent, neutral oder ſauer ſind, und daß die Nichtmetalle, aber nicht die Metalle als ſolche aufgelöſt werden können. Manche Verbindungen der Nichtmetalle mit Sauerſtoff verhalten ſich jedoch gegen ſtarke Säuren als ſchwache Baſen.

Der Sauerſtoff geht mit allen Metallen Verbindungen ein; die directe Einwirkung aber iſt eine ſehr verſchiedene. Einige Metalle, wie z. B. Kalium und Natrium, verbinden ſich bereits bei gewöhnlicher Temperatur, ſelbſt in trockner Luft, mit dem Sauerſtoff; bei anderen findet die Verbindung nur in feuchter Luft ſtatt. Die Veränderung, welche die Metalle in feuchter Luft erleiden, iſt theils eine oberflächliche, theils eine durchgreifende. Eiſen z. B. wird nach und nach ganz zerfreſſen, während ſich das Zink nur auf ſeiner Oberfläche mit einer dünnen Oxydſchicht belegt, die das Innere vor der weiteren Einwirkung des Sauerſtoffs ſchützt. Beim Eiſen ſchreitet die Zerſtörung viel raſcher vorwärts, wenn bereits einiger Roſt auf der Oberfläche entſtanden iſt. Die Oxydſchicht bildet mit dem Eiſen ein voltaiſches Element, in welchem das Eiſen elektropoſitiv iſt. Dadurch wächſt die Verwandtſchaft des Eiſens zum Sauerſtoff bedeutend, da es ſich an und für ſich

ſchon in Bezug auf dieſen elektropoſitiv verhält. Bei noch anderen Metallen iſt zu ihrer Vereinigung mit dem Sauerſtoff eine höhere Temperatur erforderlich. Nur Gold und Platin vereinigen ſich ſelbſt bei der höchſten Temperatur nicht direct mit Sauerſtoff; bei dieſen Metallen kann man dieſe Verbindung nur auf Umwegen erzielen. Kali und Natron laſſen den Sauerſtoff ſelbſt in den höchſten Temperaturen nicht fahren, während dies beim Gold und Platin ſehr leicht ſtattfindet. Eben ſo verſchieden iſt das Verhalten der Metalle zum Waſſer. Einige zerſetzen das Waſſer ſchon bei gewöhnlicher Temperatur, andere erſt bei 100° C. oder in der Rothglühhitze oder auch gar nicht.

Uebrigens hängt das Verhalten der Metalle gegen den Sauerſtoff und das Waſſer ſehr von dem Zuſtande der Vertheilung ab. Je feiner vertheilt die Metalle ſind, um ſo heftiger iſt die Einwirkung, weil hier eine bedeutend größere Oberfläche mit dem Sauerſtoff oder dem Waſſer in Berührung kommt. Eiſen z. B. in einem feinzertheilten Zuſtand — durch Reduction des Oxydes mittelſt Waſſerſtoffgas bei nicht ſehr hoher Temperatur erhalten, — verbindet ſich, wenn man es durch die Luft fallen läßt, ſo energiſch mit dem Sauerſtoff, daß, in Folge der hierbei entwickelten Hitze, eine förmliche Verbrennung der Metalltheilchen ſtattfindet. Eben ſo brennt auch das feinzertheilte Kupfer ſehr leicht in Sauerſtoff, wenn es ſtark erhitzt wird. Zu einer der ſchönſten Erſcheinungen gehört das Verbrennen von Eiſendraht, ſelbſt bei einem ziemlich bedeutenden Durchmeſſer, im Sauerſtoff. Der Draht verbrennt vollſtändig, weil das ſich bildende Oxyd bei dieſer Temperatur ſchmilzt und ſo die Oberfläche des Drahtes ſtets frei davon bleibt. Die flüchtigen Metalle, z. B. das Zink, brennen bei geeigneter Temperatur ſelbſt in gewöhnlicher Luft mit ſehr glänzender Flamme.

Das verſchiedene Verhalten der Metalle zu dem Sauerſtoff und Waſſer hat man zu einer Eintheilung der Metalle benutzt.

Erſte Gruppe: Metalle, welche den Sauerſtoff bei allen Temperaturen, ſelbſt den höchſten aufnehmen und das Waſſer eben ſo bei allen Temperaturen, ſelbſt den niedrigſten zerſetzen: Kalium, Natrium, Lithium, Baryum, Strontium, Calcium.

Zweite Gruppe: Metalle, welche den Sauerſtoff ſelbſt bei der höchſten Temperatur aufnehmen und ihn durch die Hitze allein nicht wieder fahren laſſen; ſie zerſetzen das Waſſer bei gewöhnlicher Temperatur nur ſchwach, aber leicht bei einer Temperatur über 50°: Magneſium, Mangan, Aluminium. Wahrſcheinlich ſind die folgenden Metalle hierher zu rechnen, deren Verhalten zum Waſſer noch nicht hinreichend ſtudirt iſt: Beryllium, Zirkonium, Yttrium, Thorium, Cerium, Lanthan, Didym, Erbium und Terbium.

Dritte Gruppe: Metalle, die in der Rothgluth ſich mit Sauerſtoff verbinden und dieſen durch die Hitze allein nicht fahren laſſen; ſie zerſetzen das Waſſer in Temperaturen über 100° C., aber unter der Rothgluth. Bei Gegenwart von Säuren zerſetzen dieſe Metalle auch bei gewöhnlicher Temperatur das Waſſer energiſch: Eiſen, Nickel, Kobalt, Chrom, Vanadin, Zink, Kadmium, Uran.

Vierte Gruppe: Metalle, welche den Sauerſtoff in der Rothgluth abſorbiren und dieſen durch die Wärme allein nicht wieder abgeben; ſie zerſetzen den Waſſerdampf in der Rothgluth mit Leichtigkeit, aber ſie zerſetzen das Waſſer nicht bei Gegenwart ſtarker Säuren, weil ſie mit dem Sauerſtoff nur ſchwach baſiſche Ver-

bindungen eingehen: Wolfram, Molybdän, Osmium, Tantal, Titan, Zinn und Antimon. Wahrscheinlich gehört auch Stirbium hierher.

Fünfte Gruppe: Das Verhalten zum Sauerstoff ist hier dasselbe wie bei den Metallen der vorhergehenden Gruppe: das Wasser wird zwar bei einer sehr hohen Temperatur zersetzt, aber doch nur sehr schwach. Diese Metalle vermögen das Wasser weder bei Gegenwart starker Säuren, noch, wie die Metalle der vierten Gruppe, bei Gegenwart starker Basen zu zersetzen: Kupfer, Blei, Wismuth.

Sechste Gruppe: Metalle, deren Sauerstoffverbindungen bei höherer oder geringerer Temperatur zersetzt werden; mit Ausnahme des Silbers vermögen sie das Wasser bei keiner Temperatur zu zersetzen: Quecksilber, Silber, Rhodium, Iridium, Palladium, Platin, Ruthenium, Gold.

Außerdem hat man noch verschiedene andere Eintheilungen der Metalle vorgeschlagen — in leichte und schwere, edle und unedle, elektropositive und elektronegative ꝛc. Allgemein gebräuchlich ist noch die in Metalle der Alkalien (Kalium, Natrium, Lithium), der alkalischen Erden (Baryum, Strontium, Calcium, Magnesium), der eigentlichen Erden (Aluminium, Beryllium, Yttrium, Terbium, Erbium, Thorium, Zirkonium, Stirbium, Cerium, Lanthan und Didym) und in die eigentlichen Metalle.

Die Verbindungen der Metalle mit Sauerstoff nennt man im Allgemeinen Oxyde. Ihre chemische Natur ist aber eine sehr verschiedene. Wir finden darunter mehr oder weniger starke Basen, die sich leicht mit den Säuren zu Salzen verbinden; Säuren, die wiederum mit starken Basen Salze bilden; indifferente, d. h. solche, die, wie die Thonerde, fähig sind je nach den Umständen die Rolle einer Säure oder Base zu spielen; andere vereinigen sich weder mit Säuren noch mit Basen. Bringt man diese mit Säuren zusammen, so geben sie entweder, wie das Mangansuperoxyd, einen Theil ihres Sauerstoffs oder, wie das Bleisuboxyd, einen Theil des Metalles ab und nun erst gehen sie in eine Verbindung mit den Säuren ein. Oft verbinden sich auch die basischen Oxyde mit einer höheren Oxydationsstufe desselben Metalles, wie z. B. die Oxydoxyde des Eisens, des Mangans und Chroms.

Ein und dasselbe Metall verbindet sich in der Regel in mehreren Verhältnissen mit dem Sauerstoff. Von diesen verschiedenen Verbindungen ist gemeinhin die nach der Formel RO zusammengesetzte, welche die geringste Menge Sauerstoff enthält, eine starke Base, während die Oxyde R^2O^3 theils schwache Basen sind und auch die Rolle einer Säure spielen. Die Säuren sind die sauerstoffreichsten Verbindungen der Metalle.

Außerdem verbinden sich die Metalle auch mit Schwefel, Chlor, Brom, Jod, Fluor, Phosphor, Arsenik, Bor, Kiesel und Kohle. Die Nichtmetalle übernehmen hier stets die Rolle des elektronegativen Elementes. Die Verbindungen der Metalle unter sich nennt man Legirungen (s. d. Art.).

So groß die Zahl der Metalle auch ist, so ist es doch sehr leicht, dieselben zu erkennen und von einander zu trennen. Als Hauptmittel dienen hierbei Schwefelwasserstoff und Schwefelammonium. Durch ersteren werden folgende Metalle aus ihren sauren Lösungen als Schwefelmetalle niedergeschlagen: Kadmium gelb, Quecksilber, Silber, Blei, Wismuth, Kupfer, Gold, Platin und Iridium schwarz, Zinn und Arsenik gelb, Antimon orange; die letzteren sechs Schwefelmetalle sind in Schwefelammonium löslich. Durch Schwefelammonium werden folgende Me-

talle gefällt und zwar als Schwefelverbindungen: Zink weiß, Mangan blaßroth, Eisen, Kobalt, Nickel und Uran schwarz; als Oxyde: Aluminium und Beryllium weiß und Chrom grün. Die Alkalien und die alkalischen Erden werden weder durch Schwefelwasserstoff noch durch Schwefelammonium gefällt. Weiter benutzt man auch häufig das Löthrohr (s. Bd. IV. S. 665), um die verschiedenen Metalle mit Leichtigkeit zu erkennen.

Bis zum 13. Jahrhundert hin kannte man nur sieben Metalle (Gold, Silber, Kupfer, Eisen, Zinn, Blei, Quecksilber), die bereits in den Schriften der Griechen und Römer vorkommen. Bis zum 18. Jahrhundert trat nur eine sehr spärliche Vermehrung ein (Antimon, Wismuth, Zink), um so zahlreicher aber waren die Entdeckungen neuer Metalle von jetzt an. Das 18. Jahrhundert lehrte uns deren 10 (Kobalt, Platin, Nickel, Mangan, Wolfram, Molybdän, Tellur, Uran, Titan, Chrom) kennen. Die größere Hälfte gehört der jüngsten Zeit, den letzten 50 Jahren an. Außerdem hat es seit der Zeit, in der die Chemie einen neuen Aufschwung gewann, auch nicht an Entdeckungen vermeintlich neuer Metalle gefehlt, die ihr kurzes Dasein nur dem unvollkommenen Zustande der Chemie oder einer mangelhaften Untersuchung verdankten. Sie wurden sehr bald als Verbindungen schon bekannter Stoffe erkannt und traten nur auf, um wieder zu verschwinden. Daran hat es selbst in neuester Zeit nicht gefehlt. Aehnlich wie im Leben häufig neben der Bahre die Wiege steht, brachte die Wissenschaft oft auch neben der Todesanzeige eines nach einem kurzen Leben ohne Sang und Klang zu Grabe getragenen neuen Metalles die Nachricht von der Geburt eines neuen, dem ein gleiches Schicksal von solchen, die weniger begierig waren, ihren Namen durch die Entdeckung eines neuen Elementes unsterblich zu machen, geweissaget wurde. Solche vorübergehende Erscheinungen aus der neuesten Zeit sind das Donarium und Oridium. Ersteres wurde von Bergmann*) in einem norwegischen Mineral, Namens Orangit, gefunden, das mit Wöhlerit und Enkelit im Zirkonsyenit von Brevig vorkommt. Fast gleichzeitig fanden Damour**) und Berlie***), daß Bergmann's Donariumoxyd identisch sei mit Thonerde, die jedoch mit Uranoxyd, Eisenoxyd, Veradinsäure, Zinn und Molybdänsäure verunreinigt war. Die eigenthümlichen Reactionen, die Bergmann zu der Einführung eines neuen Metalles verleiteten, waren eben in diesen Verunreinigungen begründet. Ganz so war es auch beim Oridium, das Ullgreen****) an einem schwedischen Chromeisenstein gefunden haben wollte. Bald darauf untersuchte Bahr*****) dasselbe Mineral und suchte daraus genau nach Ullgreen's Angaben das neue Metall darzustellen. Bei genauerer Untersuchung stellte sich aber heraus, daß das Oridium nicht nur dem Eisen „ähnlich", sondern auch vollkommen gleich war. Das abweichende Verhalten gegen Reagentien, wodurch Ullgreen sich zur Aufstellung eines neuen Metalles berechtigt glaubte, rührte von noch darin enthaltenem Phosphor und Chrom her. Die letzte Entdeckung dieser Art

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 561.
**) Compt. rend. T. XXXIV. p. 686.
***) Pogg. Ann. Bd. LXXXV. S. 338.
****) Ofversigt af kongl. Vetensk. Akad. Förh. 1850. No. III. p. 55. Liebig's Ann. Bd. LXXVI. S. 239.
*****) Ofversigt af kongl. Vetensk. Akad. Förh. 1852. p. 161.

hat Genth *), ein Chemiker, der ſich in Amerika aufhält, gemacht. Er will das neue Metall, von dem es bis jetzt freilich noch heißt, „Namen nennen dich nicht", bei Gelegenheit einer Unterſuchung von weißen Körnern — aus 49,4 Siſſerskit ($IrOs^4$), 2,2 Platiniridium, 48,4 Platin und Gold beſtehend, — die aus californiſchem Golde ausgeleſen waren, gemacht haben.

Zweifelhaft ſind ferner noch das Norium und Ilmenium. Erſteres ſieht Svemberg **) als einen Beſtandtheil der Zirkonerde an, womit jedoch die Unterſuchungen von Berlie ***) nicht übereinſtimmen. Das Ilmenium will Hermann in Moskau in dem Ytteroilmenit, einem Mineral vom Ilmengebirge, aufgefunden haben. Neuere Unterſuchungen ſtellen jedoch das Daſein dieſes Metalles ſehr ſtark in Zweifel; es wird ſehr wahrſcheinlich, daß es Niobium mit Wolfram und Pelopium verunreinigt ſei. Hierüber hat ſich jedoch ein heftiger Federkrieg entſponnen ****). Endlich hat H. Roſe *****) das Pelopium, ſeine eigene Entdeckung, kaſſirt, indem neuere Unterſuchungen ergaben, daß die Nickelſäure und Pelopſäure jedenfalls die Oxyde deſſelben Metalles ſeien.

Obgleich in neuerer Zeit die Chemie über alle Erwartung den alten Ruf, daß ſie Gold machen könne, dadurch gerechtfertigt hat, daß ſie nicht allein die Grundlagen zu mannichfachen neuen Schöpfungen der Induſtrie geliefert, ſondern vornämlich auch dazu beigetragen hat, daß die Bedürfniſſe der Menſchen auf ungleich leichtere Art zu befriedigen ſind, wodurch die Behaglichkeit des Lebens für weite Kreiſe zugänglich geworden iſt, ſo erfüllt nichts deſto weniger der alte Traum aus jener Zeit, in der die Wiſſenſchaft noch in den Windeln lag, ſelbſt in unſeren Tagen den Kopf vieler Myſtiker. Gleich Albertus Magnus (im 12. Jahrhundert) hält auch Tiffereau †), ehemaliger Schüler und Präparateur an der Gewerbſchule in Nantes, die künſtliche Darſtellung der edlen Metalle für eine ausgemachte Sache. Die gänzliche Nichtbeachtung dieſer großen Entdeckung, von der Tiffereau ſagt, daß ſie „die kühnſten Geiſter durch ihre Wichtigkeit erſchrecken wird", ſtört ihn nicht, unermüdlich ſtets wieder von Neuem hervorzutreten. Nicht weniger denn 6 Aufſätze über die „Transmutation der Metalle" hat er an die Pariſer Akademie abgegeben ††). Sie ſind alle Behufs einer Prüfung an eine Commiſſion abgegeben, die aus den Chemikern Thenard, Chevreul und Dumas beſteht. Auf dieſen Bericht ſind wir ſehr geſpannt; bis jetzt iſt er uns noch nicht vor Augen gekommen.

So groß die Zahl der Metalle auch iſt, ſo finden wir darunter doch nur ſehr wenige, die als Metalle eine ausgedehnte Anwendung zu praktiſchen Zwecken gefunden haben. Es gehören verſchiedene Bedingungen dazu, um ein Metall für

---

*) Sillim. Americ. Journ. Tom. XV. p. 246.

**) Pogg. Ann. Bd. LXV. S. 317.

***) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVII. S. 143.

****) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XXXVIII. S. 109; Bd. XL. S. 457; Bd. XLII. S. 129; Bd. XLIV. S. 216. Pogg. Ann. Bd. LXXI. S. 157; Bd. LXXIII. S. 449.

*****) Pogg. Ann. Bd. XC. S. 456.

†) Les metaux ne sont pas des corps simples, mais bien des corps composés. La production artificielle des métaux précieux est possible, est un fait avéré. Paris 1853. chez L. Martinet, rue Mignon No. 2.

††) Compt. rend. T. XXXIX. p. 205.

die Anwendung im Leben geſchickt zu machen. Zuerſt darf es nur eine ſchwache Verwandtſchaft zum Sauerſtoff beſitzen; dann muß ihm eine gewiſſe Geſchmeidigkeit eigen ſein, ohne die es unmöglich iſt, ein Metall zu verarbeiten und ihm die geeigneten Formen zu geben. Und zwar müſſen die Metalle dieſe Eigenſchaft in einem ziemlich hohen Grade beſitzen, damit ihre Verarbeitung nicht zu koſtſpielig wird. Ferner iſt erforderlich, daß es in der Natur in bedeutenden Mengen ſich vorfindet und daß die Gewinnung aus den Erzen nicht mit zu großen Koſten verknüpft iſt. Alle Bedingungen ſind nur ſelten vereinigt und dadurch iſt es erklärlich, daß die zahlreichen Entdeckungen der neueren Zeit nach dieſer Seite hin die Zahl der nutzbaren Metalle ſo wenig vergrößert haben. Zu den Metallen, die als ſolche eine Verwendung im Leben finden und die bereits den Alten bekannt waren, ſind im Laufe der Jahrhunderte nur hinzugekommen Kobalt, Nickel, Zink und Platin; in einem noch beſchränkteren Sinne kann man auch das Kadmium, Palladium und Iridium hinzurechnen. Aber damit iſt nicht geſagt, daß die zahlreichen Entdeckungen der neuen Metalle allein nur ein wiſſenſchaftliches Intereſſe darbieten. Denn anders wie mit den Metallen ſelbſt iſt es mit den Verbindungen derſelben, von denen ſehr viele eine techniſche Verwendung finden, während viele von den Metallen bis jetzt nur wiſſenſchaftliche Seltenheiten ſind.

Nur ein Metall, deſſen Entdeckung der neueſten Zeit angehört, hat in unſeren Tagen viel von ſich reden gemacht. Es iſt dies das Aluminium, mit deſſen Darſtellung ſich Deville angelegentlich beſchäftigt hat. Die Induſtrieausſtellung war berufen, den Märchen vom „Silber aus Lehm" ein Ende zu machen; hier mußte das Wunderkind öffentlich auftreten und leicht erkannte man, daß der größte Theil deſſen, was man von ihm gehört hatte, auf Rechnung des Schwindels und der Leichtgläubigkeit der großen Menge zu ſetzen ſei. Statt der Berge von Aluminium fand man hier nur 12 kleine Barren, die vielleicht im Ganzen 2 Pfund wogen; wenig genug für eine Entdeckung, welche die Welt aus ihren Angeln heben ſollte. Von den daraus gefertigten Gegenſtänden fanden ſich nur wenig kleine Löffel und Gabeln vor, denen man freilich den Ehrenplatz unter den Gold- und Silberwaaren der berühmten Fabrik von Chriſtofle, die mit dem Porzellan von Sevres und den Gobelins die Krondiamanten im Panorama umgaben, angewieſen hatte. Obgleich das Aluminium kein hochzeitliches Gewand trug, da jetzt nicht mehr die Rede ſein konnte von dem Silberglanze, den das vermeintliche neue Metall beſitzen ſollte, ſo gebührte ihm dieſer Ehrenplatz dennoch, da es das theuerſte Metall iſt, theurer als Gold und Platin. Hieraus geht am deutlichſten hervor, was von den Redensarten Deville's zu halten iſt. Seine Methode, das Aluminium durch Reduction vermittelſt gewöhnlicher Metalle herzuſtellen, ſteht immer noch nur auf dem Papier; ſo oft er auch ſeine Stimme erhoben hat *), ſo wird dieſe Methode immer wieder von Neuem nur verſprochen. Seine Darſtellungsmethode iſt immer noch die alte. Freilich hat Chapelle angegeben **), daß es ihm gelungen ſei, Aluminium aus einem Gemenge von gemeinem Thon, Kochſalz und Holzkohle durch Glühen erhalten zu haben; damit wäre ſcheinbar das Räthſel vom

*) Compt. rend. T. XXXVIII. p. 358. 557; T. XXXIX. p. 321; T. XL. p. 1296. L'Institut No. 1049 p. 56; No. 1050. p. 105. Journ. de Pharm. et de Chim. T. XXVI. p. 285.

**) Compt. rend. T. XXXVIII. p. 358.

Stein der Weisen gelöst, wenn diese Behauptung mehr als eine bloße Redensart wäre.

In Anbetracht dessen, daß die Verbindungen des Aluminium zu den Mineralien gehören, die am häufigsten in der Natur vorkommen, ist es wohl denkbar, daß dieses Metall berufen ist, dermaleinst eine große Rolle in der Industrie zu spielen. Freilich sind manche seiner angepriesenen Eigenschaften bei nüchterner Betrachtung geschwunden, aber es besitzt deren doch noch genug, um eine ausgebreitete Verwendung zu gestatten. Nur zwei Eigenschaften sind sehr bedenklich: einmal soll es das Wasser in der Siedhitze zersetzen und dann soll es in großen Mengen selbst von den schwächsten Laugen aufgelöst werden. Fest scheinen diese Behauptungen nicht zu stehen. Eine Methode, nach der das Aluminium ohne sehr großen Kostenaufwand darzustellen wäre, würde sich wohl mit der Zeit finden.

Als allgemeine Kennzeichen der Nichtmetalle werden in der Regel angegeben, daß sie durchsichtig oder durchscheinend, schlechte Leiter der Wärme und Nichtleiter der Elektricität sind. Von ihnen sind fünf (Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Chlor und Fluor) bei gewöhnlicher Temperatur gasförmig, eins (Brom) flüssig und die übrigen fest. Von den letzteren sind Jod, Phosphor, Schwefel und Selen schmelzbar und flüchtig, das Arsen zwar nicht schmelzbar, aber flüchtig und Bor, Kiesel und Kohlenstoff höchst feuerbeständig und bei unseren gewöhnlichen Mitteln unschmelzbar. Häufiger als bei den Metallen findet man hier Farbe, Geruch und Geschmack. Die Nichtmetalle gehen unter sich eine große Zahl von Verbindungen ein. W. B.

Metalloide, s. Metalle.

Meteorologie (v. d. griech. *μετέωρος*, über der Erde, himmlisch, atmosphärisch, Lufterscheinung) ist derjenige Theil der angewandten Physik, welcher sich damit beschäftigt, die sämmtlichen in der Atmosphäre vorgehenden Erscheinungen auf bekannte physikalische Gesetze zurückzuführen. Gegenstände der Meteorologie sind: die Lehre von der Beschaffenheit der Atmosphäre als solcher (Atmosphärologie, s. d. Art. Atmosphäre); ferner die einzelnen Meteore: Winde, Stürme (s. d. Art.), die Nebel, Wolken und alle in der Atmosphäre erfolgenden wässerigen Niederschläge, als Thau, Regen, Schnee, Graupeln, Hagel (s. d. Art.), gewöhnlich auch die aus der Atmosphäre niederfallenden Substanzen, Meteorsteine, mögen diese nun innerhalb oder außerhalb der Atmosphäre entstanden sein; die Lichterscheinungen in der Atmosphäre, als: der Regenbogen, die Höfe, die Luftspiegelungen (s. d. Art.); die Erscheinungen endlich des Blitzes, des Wetterleuchtens (s. d. Art. Gewitter), der Sternschnuppen, der Feuerkugeln, des Nordlichts (s. d. Art.). Das wichtigste Object der Meteorologie sind aber in neuerer Zeit die Temperaturverhältnisse der Atmosphäre und Erde geworden, namentlich die Art und Weise, wie die von der Sonne herrührende Wärme auf der Erdoberfläche vertheilt ist (s. d. Art. Isothermen). Durch diese Temperaturverhältnisse sind viele der oben erwähnten Erscheinungen: die Winde, wässerigen Niederschläge ꝛc. bedingt, und umgekehrt haben die eben genannten Erscheinungen wieder Einfluß auf die Temperaturverhältnisse eines bestimmten Ortes der Erdoberfläche (s. d. Art. Klima).

Von der Meteorologie wohl zu unterſcheiden iſt die Meteorognoſie oder Meteoromantie, d. h. die Kunſt, das Wetter vorherzuſagen. Es iſt leicht zu erſehen, daß dieſe Kunſt, falls ſie nicht ganz bodenlos ſein ſoll, ſich nothwendigerweiſe auf die Meteorologie ſtützen muß (ſ. d. Art. Witterung).

Meteorſteine, ſ. Feuerkugeln.

Metronom, ſ. Pendel.

Miasmen, ſ. Desinficiren.

Mikrometer (v. d. griech. *μικρός*, klein, und *μέτρον*, Maß) heißt jedes zum Meſſen ſehr kleiner Größen beſtimmte Inſtrument. Man bedient ſich deſſelben namentlich bei Fernröhren und Mikroſkopen, und zwar bei den erſteren zur Meſſung des ſcheinbaren Durchmeſſers der Planeten, der Elongation der Satelliten, der Diſtanzen der Doppelſterne, bei den letzteren zur Meſſung der wahren Größe der beobachteten Objecte.

Wir werden hier zunächſt auf die Mikrometer an den Fernröhren eingehen und verweiſen wegen der bei Mikroſkopen gebräuchlichen auf den zunächſt folgenden Art. Mikroſkop.

Das Princip des Mikrometers wird aus Folgendem klar werden. In dem Brennpunkte jedes Fernrohres (ſ. Art. Fernrohr, aſtronomiſches Bd. III. S. 103) wird ein kleines Bild des Gegenſtandes erzeugt, auf welchen das Fernrohr gerichtet iſt; bringt man nun an der Stelle dieſes Bildes irgend einen materiellen Gegenſtand an, welcher mit dem Bilde in derſelben Ebene liegt und mit demſelben gleichzeitig deutlich zu ſehen iſt, z. B. eine ſchwarze Scheibe mit einem ausgeſchnittenen kleinen Kreiſe, oder ausgeſpannte dünne Fäden, welche das Geſichtsfeld in kleine Felder theilen, ſo wird man in der bekannten Größe des von dem Bilde gedeckten Theiles ein Maß für das Bild erhalten. Es iſt einleuchtend, daß man auf ſolche Weiſe die ſcheinbaren Durchmeſſer der Planeten würde meſſen können, eben ſo den Abſtand zweier Sterne, welche gleichzeitig im Geſichtsfelde erſcheinen; es kommt aber darauf an, ſolche Meſſungen mit aller nur erreichbaren Schärfe zu vollziehen, und daher ſind noch beſondere Einrichtungen zu treffen.

Solcher Einrichtungen ſind mehrere ausgeführt und praktiſch bewährt gefunden, noch mehrere vorgeſchlagen worden.

A. Fadenmikrometer.

Die Fadenmikrometer, deren Princip ſchon im Vorhergehenden im Allgemeinen angegeben iſt, zerfallen a) in ſolche mit durchweg feſtſtehenden Fäden und b) in ſolche, bei denen wenigſtens ein Faden beweglich iſt.

a) 1) Das parallele Fadenmikrometer beſteht in einer ungeraden Anzahl unter einander paralleler Fäden, von denen der mittelſte durch die Mitte des Geſichtsfeldes geht, außerdem werden ſie alle rechtwinkelig von noch einem durch die Mitte des Geſichtsfeldes gehenden Faden geſchnitten. Die parallelen Fäden ſollen unter einander gleichen Abſtand haben, und der ſchneidende Faden muß bei einem Meridianfernrohr mit dem Horizont, bei einem Aequatoreale mit dem Aequator parallel laufen. Um dies zu erreichen, macht man das ganze Syſtem von Fäden um die Axe des Fernrohrs drehbar und ſtellt es bei dem Aequatoreale ſo, daß ein dem Aequator nahe ſtehender Stern längs dem einen Faden durchgeht und

denſelben nicht verläßt. An dem letzteren Faden läßt ſich die Höhe oder Deklination, an den parallelen Fäden der Unterſchied in der Rectaſcenſion der Geſtirne beobachten. Bei dieſen Beobachtungen iſt eine Uhr erforderlich, welche genau nach Sternzeit geht. Daß man mehrere parallele Fäden anbringt, gewährt den Vortheil, daß man ein genaueres Reſultat erhält, wenn man den Durchgang der zu unterſuchenden Geſtirne an jedem derſelben beobachtet und aus allen Beobachtungen das Mittel nimmt.

2) Das Fadenmikrometer mit gegen einander geneigten Fäden beſteht entweder aus zwei Fäden, welche unter einem beſtimmten Winkel gegen einander geneigt ſind, oder aus drei Fäden, die mit einander verſchiedene willkürliche Winkel bilden, oder aus drei Fäden, bei denen der erſte und zweite, und der zweite und dritte gleiche Winkel mit einander bilden.

I.

Bradley conſtruirte zuerſt ein Mikrometer letzterer Art, indem er die Seiten ab und cd (ſ. nebenſtehende Fig. I.) eines Quadrates abcd in E und F halbirte, dieſe Halbirungspunkte unter ſich und mit den gegenüberſtehenden Ecken des Quadrates verband. Die drei Fäden waren alſo dE, FE und cE, eben ſo aF, EF und bF, bei denen die Winkel dEF, FEc, aFE und bFE unter einander gleich ſind. Hier iſt $\text{tgs} < FEc = 1/2$, und das Mikrometer wird Rautenmikrometer genannt.

II.

Burkhardt änderte dies Netz dahin ab, daß die Fäden keinen Rhombus, ſondern ein Quadrat einſchloſſen, indem er alle Seiten des Quadrates abcd halbirte (ſ. Fig. II.) und die Halbirungspunkte EGFH der Reihe nach und die beiden gegenüberſtehenden E und F durch Fäden verband. Hier iſt $\text{tgs } FEG = \text{tgs } 45^0$, und das Mikrometer heißt Quadratmikrometer.

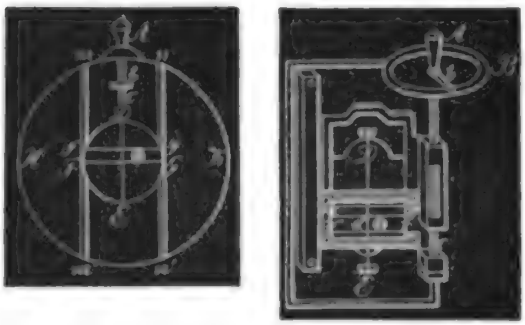
Mit Mikrometern dieſer Art kann man nicht nur die Differenz der Rectaſcenſion, ſondern auch die der Deklination beſtimmen.

b) Das Fadenmikrometer mit beweglichen Faden beſteht entweder aus zwei horizontalen Fäden, von denen der eine feſt, der andere beweglich iſt, und wird Schraubenmikrometer genannt, oder aus drei Fäden, von denen zwei wie bei dem vorhergehenden eingerichtet ſind, der dritte aber, welcher feſt ſteht, dieſelben in der Mitte des Geſichtsfeldes rechtwinkelig ſchneidet, und heißt Poſitionsmikrometer.

Bei dieſen beiden Mikrometern iſt auf einer in dem Brennpunkte ſenkrecht auf die Axe deſſelben befeſtigten und in ihrer Mitte kreisförmig durchbohrten Meſſingplatte HK (ſ. umſtehende beide Figuren für das Poſitionsmikrometer) ein horizontaler Faden FG und bei dem Poſitionsmikrometer noch ein verticaler DE befeſtigt. Auf dieſer Platte ſind zwei feine Schieber mm' und nn', zwiſchen welchen und der Platte ſich eine zweite, ebenfalls durchbohrte Platte, parallel mit der erſten, mittelſt einer feinen Schraube Abc auf und ab bewegen läßt. Dieſe zweite Platte, der Schlitten, iſt ebenfalls mit einem horizontalen Faden fg verſehen, der ſich, wenn die zweite Platte durch ihre Schraube bewegt wird, parallel mit

dem erſten F G auf und ab bewegt. Dieſe Schraube trägt bei ihrer Handhabe A einen Index b, der während der Umdrehung der Schraube auf einer eingetheilten Scheibe B herumgeht und dadurch auch z. B. den hundertſten Theil einer Umdrehung dieſer Schraube anzeigt. Wenn dieſe Schraube, wie hier vorausgeſetzt wird, ſehr feine und durchaus gleiche Windungen hat, ſo wird man dadurch die ſenkrechten Diſtanzen zweier Geſtirne ſehr genau beſtimmen können, wenn einmal der Werth einer ganzen Umdrehung der Schraube bekannt iſt. Zu dieſem Zwecke ſtellt man zuerſt beide Fäden f g und F G genau auf einander, ſo daß ſie ſich decken und nur einen einzigen zu bilden ſcheinen, und bemerkt für dieſen Stand des beweglichen Fadens den Ort des Zeigers b auf der eingetheilten Scheibe B. Dann ſchraubt man den beweglichen Faden f g ſo weit über oder unter dem feſten F G, bis beide Fäden irgend ein Geſtirn, z. B. die Sonne d an ihrem oberen und unteren Rande genau berühren, und bemerkt wieder den Stand des Zeigers auf der Scheibe. Geſetzt der Durchmeſſer der Sonne betrage volle 32 Minuten und die Schraube macht $40^1/_4$ Umgänge, um dieſen Durchmeſſer zwiſchen den beiden Fäden des Mikrometers zu faſſen, ſo folgt daraus, daß ein ganzer Umgang der Schraube 47,7 Secunden und daher jeder hundertſte Theil derſelben 0,477 Secunden betrage. Sind umgekehrt die Verhältniſſe der Schraube bekannt, ſo würde aus $40^1/_4$ Umgängen der Schraube ein Sonnendurchmeſſer von 32 Minuten ſich ergeben.

I. II.



Um den Gebrauch dieſer Mikrometer, namentlich des Poſitionsmikrometer, noch mehr zu veranſchaulichen, nehmen wir an, daß das Fernrohr im Meridiane ſo aufgeſtellt ſei, daß der Faden F G horizontal und D E vertical ſteht. In dieſer Stellung läßt man einen bekannten Fixſtern, der nicht weit von einem Planeten abſtehen möge, durch das Feld des Fernrohres gehen und ſchraubt den beweglichen Faden f g auf ihn, ſo daß der Stern, während er durch das Geſichtsfeld geht, die ganze Länge dieſes Fadens zurücklege. Zugleich betrachtet man auch ſeinen Durchgang durch den feſten verticalen Faden D E. — Daſſelbe thut man auch mit dem bald darauf folgenden Planeten und bemerkt zugleich, wie viel Umdrehungen man die Schraube hat machen laſſen, um den beweglichen Faden von ſeiner letzten Stelle, an welcher er den Stern traf, auf diejenige zu bringen, wo der Mittelpunkt des Planeten durch ihn ging. Dieſe Anzahl der Umdrehungen mit 47,7 multiplicirt giebt ſofort die Differenz der Deklinationen beider Geſtirne, und die Zwiſchenzeit, welche von dem Appulſe des Fixſternes durch den Verticalfaden D E bis zu dem des Planeten verfloſſen iſt, giebt die Differenz der Rectaſcenſionen beider Geſtirne. Da man nun die Rectaſcenſion und Deklination des Fixſternes bereits kennt, ſo erhält man dadurch auch ſofort die Rectaſcenſion und Deklination des Planeten.

Herſchel *) hat den beweglichen Faden überdies drehbar gemacht, ſo daß

*) Phil. Transact. f. 1781.

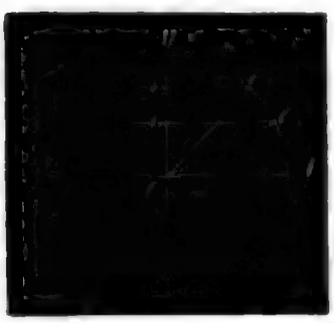
er ihn gegen den feſten in alle mögliche Neigungen bringen konnte. Hierdurch konnte er den Poſitionswinkel direct meſſen, indem er den beweglichen Faden durch beide Sterne gehen ließ.

Die Faden der Fadenmikrometer machte man anfangs aus Silber; ſo verfuhr z. B. Malvaſia, dann brachten Auzout und Picard Coconfäden in Anwendung, eben ſo wurden Haare und 1707 von La Hire und in neuerer Zeit wieder von Brewſter Glasfäden vorgeſchlagen, ſpäter wählte man Spinnefäden und neuerdings hat man den noch feineren Fäden aus Gold oder Platin den Vorzug gegeben, deren Anfertigung Wollaſton beſchrieben hat *).

Uebelſtände, mit welchen die Fadenmikrometer verbunden ſind, beſtehen in der Wirkung der Inflexion, in dem todten Gange der Schraube, dem die Mechaniker jetzt allerdings faſt vollſtändig abzuhelfen wiſſen, in der Nothwendigkeit dieſelben zu beleuchten, wodurch die Beobachtung eines ſehr lichtſchwachen Sternes ganz unmöglich werden kann, — Arago's Vorſchlag, mit Hülfe des elektriſchen Stromes der voltaſchen Säule die Fäden ſelbſt leuchtend zu machen, iſt wohl wegen der dadurch bedingten Erhitzung unpraktiſch — und daß man ſich derſelben nur zur Meſſung von Diſtanzen ſenkrecht auf die Richtung der täglichen Bewegung bedienen kann. Andererſeits iſt aber der Vorzug anzuerkennen, daß man mit Leichtigkeit die Werthe aller Arten von Winkeln, die zwiſchen Null und der Größe des Geſichtsfeldes des Fernrohres liegen, erhält.

B. Flächenmikrometer.

Grimaldi und Riccioli ſchätzten die Winkel, unter denen die Planeten erſcheinen, mit Hülfe von papiernen Kreiſen, deren Durchmeſſer bekannt war, und die in beſtimmten Entfernungen aufgeſtellt wurden. Statt dieſes mangelhaften Verfahrens brachte Huygens im Brennpunkte des Objectivs des Fernrohres einen dreieckigen Metallſtreifen an, welcher zwiſchen zwei, einander an den Seiten des Rohres gegenüberſtehenden, Führungen verſchoben werden konnte. Andere erſetzten dies Huygens'ſche Probeplättchen durch eine dreieckige Spalte. Schließlich kam man auf das Kreismikrometer, welches als das einfachſte und genaueſte Flächenmikrometer einer näheren Angabe bedarf.



Das Kreismikrometer beſteht aus einem einfachen Kreiſe in dem Brennpunkte des Fernrohres (ſ. nebenſtehende Figur) und man beobachtet in E und C den Eintritt, ſo wie in E' und C' den Austritt der Sterne aus der Peripherie deſſelben. — Nimmt man nämlich die Mitte der Ein- und Austrittszeit eines jeden der beiden Geſtirne, ſo erhält man dadurch diejenigen Augenblicke, wo dieſe Geſtirne in der Mitte ihrer Sehnen EE' und CC', oder wo ſie in den Punkten F und D waren,

*) Man befeſtigt einen Platindraht in der Are einer hohlen, cylindriſchen Form, welche man dann mit geſchmolzenem Silber ausfüllt. Den erhaltenen Silbercylinder, der mithin den Platindraht einſchließt, zieht man auf einem Drahtzuge möglichſt aus und löſt dann das den mit ausgezogenen Platindraht umgebende Silber durch ſiedende Salpeterſäure auf, welche das Platin nicht angreift und ſomit den überaus dünnen Platindraht zu Tage fördert.

in welchen ein auf dieſe Sehnen ſenkrechter Halbmeſſer O M dieſe Sehnen halbirt, und dann wird die Differenz beider Augenblicke die Differenz der Rectaſcenſionen der beiden Geſtirne ſein.

Auch die Differenz der Deklinationen kann man aus denſelben Ein- und Austritten erhalten, da man O D und O F aus C D, E F und dem bekannten Halbmeſſer des Kreiſes berechnen kann, aber O F — O D nichts anderes iſt, als die Deklinationsdifferenz. Nämlich aus der halben Zwiſchenzeit der Beobachtungen findet man die halben Sehnen C D und E F, wenn man dieſelben mit dem 15fachen Coſinus der Deklination multiplicirt.

Bei dem Kreismikrometer muß der Halbmeſſer des Kreiſes genau beſtimmt ſein. Am ſicherſten geſchieht dies durch zwei Fixſterne, deren Deklinationsdifferenz D nahe gleich dem Durchmeſſer dieſes Kreiſes iſt, ſo daß alſo jeder derſelben — der eine oben und der andere unten — eine ſehr kleine Sehne in dem Felde des Kreismikrometers beſchreibt. Die Plejadenſterne eignen ſich beſonders zu dieſen Beſtimmungen. Iſt nun Q die durch D dividirte Summe der Quadrate der halben Sehnen oder der halben beobachteten Zwiſchenzeiten in Zeitſecunden ausgedrückt, und nennt man q das Quadrat von dem 15fachen Coſinus der Deklination der Mitte zwiſchen beiden Sternen, ſo iſt der geſuchte Durchmeſſer des Kreiſes gleich $D + Qq$.

Zu dieſem Zwecke kann man ſchon die dem Auge nächſte innere Blendung (Diaphragma) benutzen, welche in jedem Fernrohre enthalten iſt, wenn man ſie zuvor auf einer Drehbank genau kreisförmig ausdrehen läßt. Bequemer zur Beobachtung wird ein feiner metallener Ring ſein, welcher in der Ebene jener Blendung durch zwei oder drei Stifte befeſtigt wird, und wenn er etwas kleiner als die Oeffnung dieſer Blendung iſt, den Vortheil gewährt, daß man die kommenden Sterne vor ihrer Beobachtung ſehen und den Eintritt ſowohl, als auch den Austritt derſelben an den beiden Rändern des Ringes beobachten kann. Die vorhergehende Beſtimmung des Halbmeſſers wird zugleich ein gutes Mittel geben zu prüfen, ob der Ring an ſeinen beiden Seiten in der That vollkommen kreisförmig, alſo zu dieſer Art von Beobachtungen geeignet iſt. Zu dieſem Zwecke braucht man nur dieſen Ring nach jeder Beobachtung eines Sternenpaares ein wenig in ſeiner Ebene zu drehen und die beiden Sterne an anderen Punkten der Peripherie durchgehen zu laſſen, um zu ſehen, ob man für den Halbmeſſer des Ringes wieder denſelben Werth erhält. Was dieſes einfache Mikrometer vor allen anderen beſonders empfiehlt, iſt der Umſtand, daß unſere Künſtler einen vollkommenen Kreis viel leichter als eine gerade Linie von gegebener Neigung darzuſtellen vermögen, und daß die Beobachtungen an einem ſolchen Kreiſe auch ohne beſondere Beleuchtung in dem verfinſterten Fernrohre angeſtellt werden können. Um alle Verbiegungen der Ringe unmöglich zu machen, werden nach Fraunhofer Stahlringe in runde Oeffnungen eines Planſpiegelglaſes durch Einreiben befeſtigt und hierauf die zu beiden Seiten der fixirten Ringe hervorſtehenden ſcharfen Ränder vollkommen kreisförmig abgedreht. Auch hat Fraunhofer es verſucht, auf Spiegelglas concentriſche Ringe einzureißen oder zu ätzen.

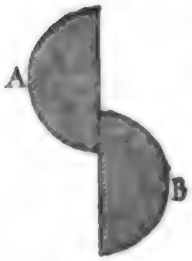
C. Dioptriſche Mikrometer.

Dioptriſche Mikrometer könnte man diejenigen nennen, deren Wirkung auf Refractionsverhältniſſen des Lichtes beruht. Es gehört hierher: 1) das

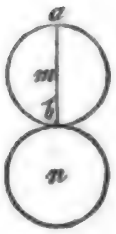
Objectivmikrometer, 2) das Bergkryſtallmikrometer und 3) das Ocularmikrometer.

1) Das Objectivmikrometer hat das Weſentliche, daß durch das Objectiv des Fernrohres ſelbſt zwei Bilder von demſelben Objecte erzeugt werden. Der zu Grunde liegende Gedanke iſt zuerſt von Bouguer*) klar aufgefaßt, indem er zwei Objective von gleicher Brennweite neben einander an dem einen Ende eines einzigen Rohres anbrachte, an deſſen anderem Ende für beide ein einziges Ocular war. Er nannte dies Inſtrument Heliometer (v. d. griech. ἥλιος, Sonne, und μέτρον, Maß). Dollond (1754) und Fraunhofer haben dies Mikrometer bedeutend vervollkommnet, insbeſondere durch die von dem erſteren vorgeſchlagene Abänderung, das Objectivglas des Fernrohres ſelbſt in der Richtung des Durchmeſſers des Glaſes in zwei Stücke zu zerſchneiden. Es iſt klar, daß die beiden Stücke der Linſe, wenn ſie neben einander liegen, nur ein Bild im Brennpunkte erzeugen, da ſie dann nur eine einzige Linſe bilden; trennt man aber dieſelben und bringt ſie in eine Lage, wie nebenſtehende Fig. I. dies veranſchaulicht, ſo werden zwei Bilder entſtehen, da jedes Stück eben ſo wie die ganze Linſe wirkt. Verſchiebt man die Hälfte B, während A an ſeiner Stelle bleibt, ſo wird das von A erzeugte Bild m (ſ. Fig. II.) unverrückt bleiben, aber das von B erzeugte Bild n auch verſchoben werden. Hierbei kömmt es nun darauf an, den Weg genau zu meſſen, welchen B durchlaufen muß, damit die beiden Bilder m und n genau zur Berührung gelangen, denn dadurch erhält man den Werth des Winkels, unter welchem der ſcheinbare Durchmeſſer a b des zu meſſenden Himmelskörpers erſcheint. Die Verſchiebung der einen Linſenhälfte wird in ähnlicher Weiſe wie bei dem Schraubenmikrometer mittelſt einer Mikrometerſchraube zu Stande gebracht. Nehmen wir an, daß die Meſſung an der Sonne vollzogen ſei, ſo haben wir den Sonnendurchmeſſer erhalten. Wollen wir prüfen, ob der Sonnendurchmeſſer in allen Richtungen derſelbe ſei, ſo laſſen wir, ſobald die beiden Bilder zur Berührung gekommen ſind, die Halblinſe B ſich um ſich ſelbſt drehen. Das Bild n wird ſich hierbei allmälig verrücken, die Stellungen n′, n″, n‴ . . . (ſ. Fig. III.) einnehmen, und wenn der Sonnendurchmeſſer in allen Richtungen derſelbe iſt, ſo wird natürlich — vorausgeſetzt, daß das Fernrohr parallatiſch aufgeſtellt iſt — allenthalben Berührung der beiden Bilder ſtattfinden.

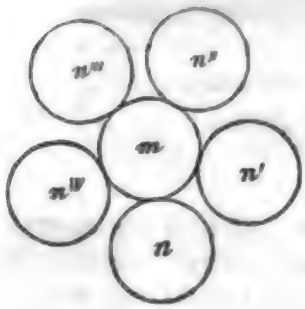
I.



II.



III.

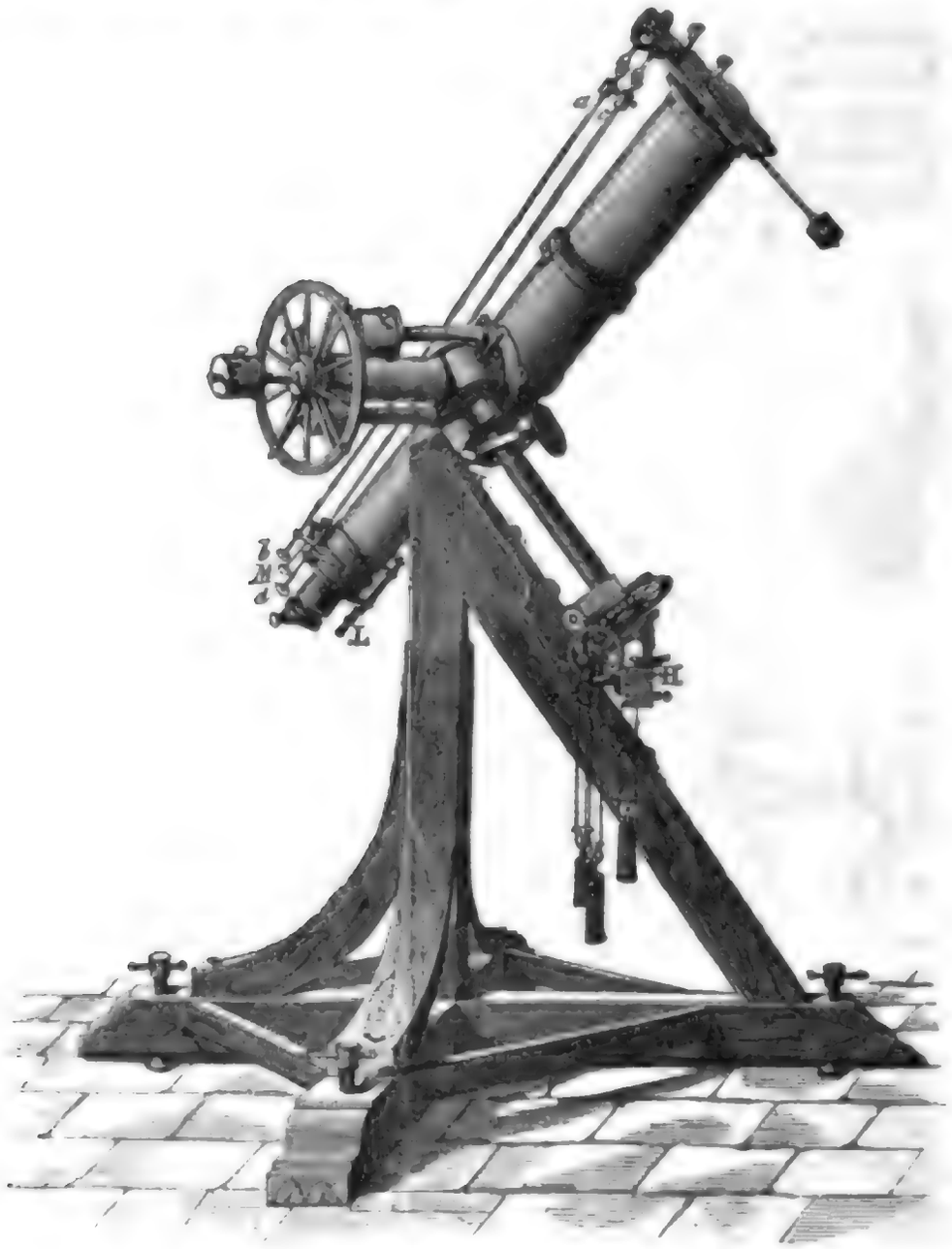


Die vollkommenſten Heliometer ſind wohl die in Königsberg, Pulkowa und Oxford**). Von

*) Mémoir. de l'Acad. Paris 1748. Lalande, Astron. §. 2439. 2440.

**) Königsberger Beobachtungen. Bd. XV. Description de l'Observatoire de Poulcova; Astronomical Observations made ad the Radcliffe-Observatory. T. XI.

dem Königsberger Inſtrumente theilen wir eine Abbildung mit. Neben dem Fernrohre laufen zwei Schlüſſel a b, c d (ſ. beiſtehende Fig.) mit deren Hülfe der Beobachter, ohne das Ocular zu verlaſſen, nach Belieben die beiden Objectivhälften zuſammen um die Axe des Fernrohres drehen oder die Schraube in Bewegung ſetzen kann, welche die bewegliche Hälfte des Objectives verrückt. L iſt ein



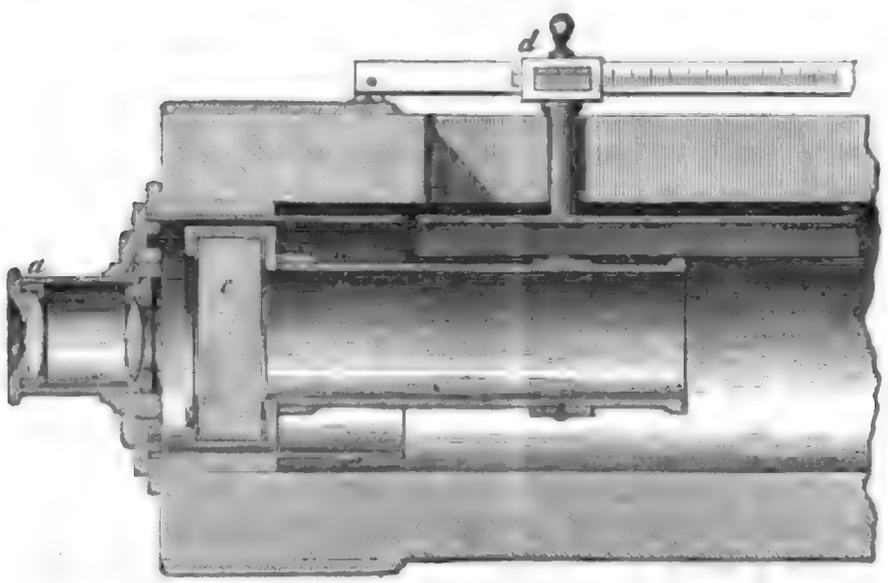
Sucher, um das Auffinden des Sternes zu erleichtern. Mittelſt der Handhabe M kann dem Sucher eine Drehung um das Hauptfernrohr ertheilt werden. Die Aufſtellung des Inſtrumentes iſt parallatiſch, und es kann daſſelbe nach Belieben mit dem Uhrwerke H in Verbindung geſetzt werden, um dann dem beobachteten Geſtirne auf ſeiner täglichen Bahn am Himmelsgewölbe zu folgen.

In neuerer Zeit wird das Heliometer namentlich zur Beobachtung der Phaſen zur Zeit der Mond- und Sonnenfinſterniſſe angewendet. Beſſel hat es namentlich bei ſeinen Unterſuchungen über die Doppelſterne benutzt. Wegen genauer Be-

ſchreibung des Heliometers müſſen wir auf die bereits angeführten literariſchen Nachweiſe uns beziehen, außerdem führen wir noch an: Hanſen, ausführliche Methode mit dem Fraunhofer'ſchen Heliometer Beobachtungen anzuſtellen, Gotha 1827, wo das auf der Seeberger Sternwarte befindliche Fraunhofer'ſche Inſtrument beſchrieben iſt *).

2) Das Bergkryſtallmikrometer beruht auf der doppelten Brechung des Bergkryſtalls (ſ. Art. Brechung, doppelte, Bd. I. S. 892), und Rochon ſcheint der erſte geweſen zu ſein, welcher die Anwendung zu dem in Rede ſtehenden Zwecke gemacht hat, wiewohl Maskelyne und Boscowich Prioritätsanſprüche erhoben haben. Im Jahre 1768 machte Rochon den erſten Vorſchlag, aber erſt 1778 kam derſelbe zur Ausführung in zwei achromatiſchen Prismen aus Bergkryſtall, welche vor dem Fernrohre befeſtigt wurden und vier Bilder von dem Objecte gaben. Später änderte er das Mikrometer dahin ab, daß nur zwei Bilder entſtanden und der Apparat hinter dem Oculare ab eingeſetzt wurde, wie in der beiſtehenden Fig. I. deutlich zu ſehen iſt, wo c das Prisma vorſtellt, welches mittelſt einer gezähnten Stange d längs der Axe des Fernrohrs bewegt werden kann.

I.



Es beſteht nun das Rochon'ſche Prisma aus zwei gleichen Prismen von Bergkryſtall, welche ſo an einander gefügt ſind, daß die brechenden Winkel entgegengeſetzte Lage haben. Das eine Prisma aa'b (ſ. beiſtehende Fig. II.) iſt ſo geſchnitten, daß die Fläche ab auf die Brechungsaxe des Kryſtalls ſenkrecht iſt; das andere Prisma a'bb' ſo, daß die Brechungsaxe auf der Fläche bb' ſenkrecht ſteht. Dieſes Doppelprisma lenkt die ſenkrecht auf ab fallenden Strahlen nicht von ihrem Wege ab, auch erleidet ein ſolcher Strahl stt' in dem erſten Prisma keine Spal-

II.

*) Letztere Beſchreibung findet ſich auch in: Wörterbuch der angewandten Mathematik von Jahn. Leipzig 1847. Art. Heliometer. Bd. I. S. 584. Vergl. auch Schumacher's aſtr. Nachr. Nr. 189.

tung, wohl aber wird er beim Eintritte in das zweite Prisma an der gemeinschaftlichen Oberfläche in zwei Bündel gespalten: in den gewöhnlichen Strahl t'g, der seinen Weg ungeändert verfolgt, und in den ungewöhnlichen Strahl t'u. Wird nun ein solches Prisma zwischen das Objectiv des Fernrohres und das im Brennpunkte desselben erscheinende Bildchen gesetzt, so wird jeder Strahlenkegel in zwei Theile getheilt, und es müssen daher im Brennpunkte zwei Bilder erscheinen. Ob sich dieselben zum Theil decken oder nicht, hängt ab theils von ihrer Größe, theils von dem Abstande des Prisma. Gesetzt es sei in beistehender Fig. A das Objectiv, P das Prisma, B und b die getrennten Bilder, so werden sich diese berühren, wenn man das Prisma aus P nach p setzt. Natürlich wird dies um so eher eintreten, je größer die Bilder sind, je größer mithin die scheinbare Größe des Gegenstandes ist. Um die Berührung zu Stande zu bringen, ist an der Röhre eine Verschiebungsvorrichtung angebracht mit einer Scala, welche die Grade des Sehwinkels angiebt, unter welchem das gesehene Object erscheint. Wäre anders woher die wahre Größe des Gegenstandes bekannt, so ließe sich auch die Entfernung desselben bestimmen.

Pearson *) versuchte ein solches Prisma zwischen dem Ocular und dem Auge des Beobachters anzubringen, und erhielt auch in diesem Falle zwei sehr deutliche Bilder. Hierbei kam er zu dem Resultate, daß der constante Winkel eines Prismas von doppelter Brechung, dividirt durch die Vergrößung eines Fernrohrs, das wahre Maß des beobachteten Winkels ist, wie er durch dasselbe Prisma, in Berührung mit dem Auge, in diesem Fernrohre gesehen wird. Es sei z. B. der Winkel des Prisma 30 Minuten und die Vergrößerung des Fernrohrs 60, so hält der so gemessene Winkel $^{30}/_{60}$ Minuten oder 30 Secunden. Man muß also den constanten Winkel des Prisma und die Vergrößerung des Fernrohres vor dem Gebrauche ermitteln.

3) Das Ocularmikrometer ist von Arago **) angegeben und zwar in doppelter Ausführung mit veränderlicher und mit constanter Vergrößerung. Das Ocularmikrometer mit veränderlicher Vergrößerung ist das Bergkrystallmikrometer mit Pearson's Abänderung, und besteht das Ocular aus zwei Linsen a und b (s. umstehende Fig. I.), von denen die eine b mittelst einer gezahnten Stange verschiebbar ist. Das Bergkrystallprisma c ist sehr dünn und achromatisch und befindet sich an der Stelle vor der Ocularlinse, wo man das bei den Sonnenbeobachtungen zur Abschwächung des allzu lebhaften Glanzes gebräuchliche gefärbte Glas anbringt.

Das Ocularmikrometer mit constanter Vergrößerung besteht in einer Anzahl Schiebern, von denen jeder 7 Prismen enthält, ein wenig breiter als die Pupille, und sich der Reihe nach um 15 oder 30 Secunden im Winkel unterscheidend. Der Schieber wird (s. umstehende Fig. II.) in einer Rinne vor der

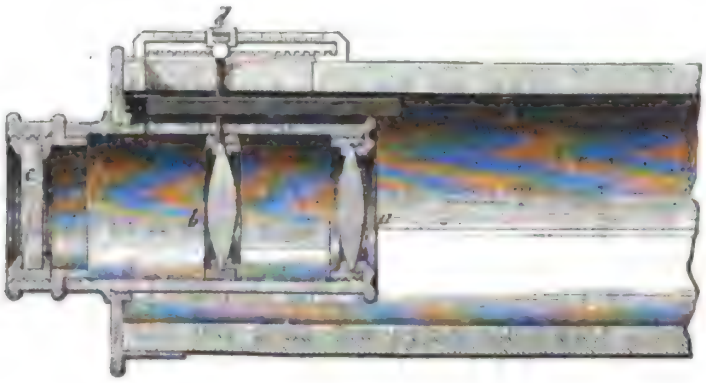
---

*) Mem. of the astron. Soc. T. I. p. 67. 82 u. 102.

**) Arago's sämmtliche Werke, deutsch von Hankel. Leipzig 1856. Bd. XII. oder Populäre Astronomie. Bd. II. S. 72.

Ocularhülse verſchoben, bis ein Prisma ermittelt iſt, durch welches man die beiden Bilder in Berührung ſieht.

I.



II.

Beide Prismen ſcheinen wenig praktiſch, da, um nur bis zu einer Bogenminute meſſen zu können, bei dem letzteren Mikrometer ſchon mehr als 800 Prismen erforderlich wären, und eben ſo iſt es bei dem erſteren ein großer Uebelſtand, daß die Bilder an ihrer Schärfe verlieren, wenn die beiden Ocularlinſen nicht genau in dem Abſtande ſtehen, bei welchem ihre Wirkung die möglichſt beſte iſt.

Außer den beſchriebenen Mikrometern ſind noch manche andere Vorſchläge gemacht worden, die entweder gar nicht in Ausführung gekommen ſind oder ſich nicht praktiſch bewährt haben, weshalb wir auf ihre nähere Einrichtung nicht eingehen. Nur einige wollen wir wenigſtens namhaft machen.

Das Zenithmikrometer von Babbage*) hat das Eigenthümliche, daß das Fernrohr mit einem Parallelogramme in Verbindung ſteht, deſſen vier

*) Mem. of the astron. Society. T. II. p. 101.

Digitized by Google

Seiten in ihren Ecken genau mit einander verbunden ſind, von denen aber die eine horizontale Seite etwas verlängert oder verkürzt werden kann.

Powell *) hat ein neues Mikrometer mit doppeltem Bilde vorgeſchlagen, deſſen weſentlicher Theil ein halbkreisförmiges, planparalleles Glas iſt in der Mitte des Strahlenkegels, der vom Objective zum Oculare geht. Das Glas iſt von außen drehbar.

Herſchel bediente ſich bei ſeinen Beobachtungen der Doppelſterne eines Lampenmikrometers, indem er durch zwei kleine Laternen, welche mittelſt dünner Metallplättchen geſchloſſen werden konnten, ſich zwei kleine Lichtpunkte in feinen Oeffnungen jener Platten verſchaffte, die er einander nähern oder von einander entfernen konnte. Mit dem einen Auge blickte er in ſein Spiegelteleſkop, mit dem anderen auf die außerhalb des Fernrohres ſtehenden Lichtpunkte **).

Brewſter ***) hat mehrere Mikrometer vorgeſchlagen. Das eine derſelben hat zwei parallele, feſtſtehende Faden und durch eine Steigerung oder Verminderung der Vergrößerung des Fernrohres will er die Berührung mit beiden Fäden erzielen.

Cavallo ****) hat ein Perlmuttermikrometer angegeben.

Erfinder des Fadennetzes ſoll Montanari ſein, wiewohl gewöhnlich der Marquis Cornelius Malvaſia, Senator zu Bologna, als ſolcher angegeben wird *****). Die erſte Beſchreibung des Mikrometers von Huyghens findet ſich in ſeinem Systema Saturnium Haag. 1659. p. 82. In hiſtoriſcher Hinſicht iſt auch zu vergleichen: Balthasaris Micrometria, Erlang. 1710. Cap. III. und Lalande und Delambre in Hist. de l'Astron. au XVIII. siècle, p. 616 — 618. In der Mitte des 17. Jahrhunderts waren die Mikrometer noch unbekannt. Wegen des aſtronomiſchen Gebrauchs der Mikrometer und des Heliometers verweiſen wir noch auf Brünnow, Lehrbuch der ſphäriſchen Aſtronomie, Berlin 1851. S. 541 — 591. H. E.

Mikroſkop (v. d. griech. *μικρός*, klein, und *σκοπέω*, ich betrachte) iſt ein Werkzeug, welches dazu dient, nahe kleine Gegenſtände vergrößert zu erblicken und zu beobachten. Es iſt ein Sehrohr für die Nähe, während das Teleſkop ein ſolches für die Ferne iſt. Im Allgemeinen erſcheint zwar ein Gegenſtand um ſo größer, je größer der Sehwinkel iſt, unter welchem derſelbe erblickt wird, d. h. der Winkel, welchen die beiden von den äußerſten Punkten des Gegenſtandes in das Auge gelangenden Lichtſtrahlen bilden, und da dieſer Sehwinkel mit der Annäherung des Gegenſtandes an das Auge wächſt, ſo ſcheint es, als ob man durch die bloße Annäherung die erwünſchte Vergrößerung bewirken könne; indeſſen die Entfernung des deutlichen Sehens ſetzt dieſem Verfahren eine Grenze, indem der Gegenſtand, ſobald er dem Auge näher kommt, als dieſe Grenze vorſchreibt, an Deutlichkeit verliert, weil die von jedem einzelnen Punkte

---

*) Instit. No. 648. p. 190.
**) Arago a. a. O. S. 64. Vergl. Phil. Transact. Vol. LXXII.
***) Brewster, philosophical Instruments. 1813.
****) Philos. Transact. f. 1791.
*****) Arago a. a. O. Bd. II. S. 49 und 162.

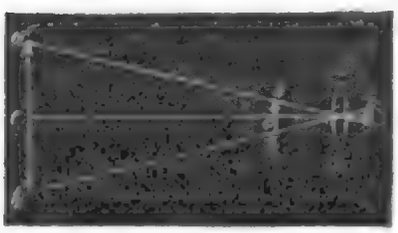
des Gegenſtandes ausgehenden Strahlen alsdann zu ſtark divergiren. (Vergl. Art. Sehen.) Das Bild eines jeden Punktes des Gegenſtandes würde zu weit hinter die Kryſtallinſe fallen, und mithin ein undeutliches Bild geben. Durch eine Converlinſe (ſ. Art. Linſenglas) wird die Divergenz der Strahlen vermindert, ihr Vereinigungspunkt der Kryſtallinſe genähert, und ſo können die Bilder der einzelnen Punkte jetzt auf die Netzhaut fallen, wodurch von dem ganzen Objecte ein deutliches Bild gewonnen wird. Oder — um die Sache noch auf eine andere Weiſe deutlich zu machen — die von dem zu ſehr dem Auge genäherten und deshalb undeutlich erſcheinenden Gegenſtande ausgehenden Lichtſtrahlen werden durch ein zwiſchen das Auge und den Gegenſtand eingeſchobenes Converglas weniger divergent gemacht und ſcheinen mithin von einem weiter abſtehenden Gegenſtande zu kommen, ohne daß dadurch der Sehwinkel verringert worden wäre. Der Gegenſtand muß folglich vergrößert erſcheinen. Bedingung iſt hierbei nur, daß der Gegenſtand ſich innerhalb der Brennweite der Converlinſe befindet.

Man unterſcheidet einfache und zuſammengeſetzte Mikroſkope. Jene, auf welche im Vorſtehenden eigentlich nur Rückſicht genommen iſt, beſtehen aus Einer Linſe oder aus mehreren unmittelbar hinter einander ſtehenden, und der zu beobachtende Gegenſtand befindet ſich innerhalb der Brennweite derſelben; dieſe beſtehen im Allgemeinen aus zwei Converlinſen, die von einander weiter abſtehen, und der zu beobachtende Gegenſtand befindet ſich außerhalb der Brennweite der ſogenannten Objectivlinſe.

1. Einfaches Mikroſkop.

Im Allgemeinen kann jede Converlinſe als einfaches Mikroſkop benutzt werden, doch nennt man vorzugsweiſe nur ſolche Converlinſen einfache Mikroſkope, deren Brennweite viel kleiner iſt, als die Entfernung des deutlichen Sehens. Beträgt die Brennweite $^1/_2$ bis 2 Zoll, ſo heißt die Converlinſe Loupe, beträgt dieſelbe noch weniger, ſo hat man eine eigentliche mikroſkopiſche Linſe.

Iſt LS (ſ. beiſtehende Figur) eine Converlinſe von kurzer Brennweite, ab ein kleiner Gegenſtand, der innerhalb der Brennweite, aber nahe an dem Brennpunkte der Linſe ſich befindet, ſo erhält das Auge o die von dem Gegenſtande ausgehenden Lichtſtrahlen ſo, als ob dieſelben von dem entfernteren Gegenſtande (Bilde) a'b' herkämen (ſ. Art. Linſenglas). Je näher der Gegenſtand ab an dem Brennpunkte ſteht, deſto weiter ſteht das Bild a'b' von der Linſe ab; man kann es daher durch allmälige Annäherung oder Entfernung des Gegenſtandes ab in Beziehung auf den Brennpunkt dahin bringen, daß das Bild a'b' in der Entfernung des deutlichen Sehens ſteht und mithin dem Auge o deutlich erſcheint. Hat man das Letztere erreicht, ſo läßt ſich die Vergrößerung, welche die Linſe gewährt, leicht beſtimmen. Setzen wir voraus, daß die Dicke der Linſe unbedeutend iſt und ſich dieſe ſelbſt dem Auge ſehr nahe befindet, ſo daß man das Auge als in dem optiſchen Mittelpunkte der Linſe ſtehend annehmen kann, ſo erhalten wir



$$a'b' : ab = oc' : oc,$$

alſo die Vergrößerung $\frac{a'b'}{ab} = \frac{oc'}{oc}$.

Nun iſt (ſ. Art. Linſenglas) $\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{f}$, und zwar hier $oc = a$, und $oc' = \alpha$, ferner muß, da oc kleiner als die Brennweite f iſt, $\frac{1}{\alpha}$ negativ geſetzt werden, folglich iſt $\frac{1}{oc} - \frac{1}{oc'} = \frac{1}{f}$ und $\frac{oc'}{oc} = 1 + \frac{oc'}{f}$.

Bezeichnen wir oc' als die Entfernung des deutlichen Sehens mit d, ſo iſt alſo die Vergrößerung überhaupt $= \frac{d}{f} + 1$, wofür man jedoch gewöhnlich nur $\frac{d}{f}$ nimmt, da f bedeutend kleiner als d ſein ſoll. Nehmen wir z. B. die normale Sehweite zu 10″ an, ſo würde eine Loupe von 0,5″ Brennweite eine Vergrößerung = 20 geben, und eine mikroſkopiſche Linſe von 0,1″ Brennweite eine ſolche = 100, oder genauer im erſten Falle = 21, im zweiten = 101.

Die lineare Vergrößerung iſt alſo bei einem einfachen Mikroſkope gleich dem Quotienten aus der Brennweite der Linſe in die Entfernung des deutlichen Sehens. Die Flächenvergrößerung giebt das Quadrat dieſer Zahl und die Volumenvergrößerung der Cubus derſelben. Je kleiner die Brennweite der Linſe iſt, um ſo ſtärker iſt alſo die Vergrößerung, allerdings mit Berückſichtigung der verſchiedenen Sehweite der verſchiedenen Augen, ſo daß dieſelbe Linſe für ein weitſichtiges Auge eine ſtärkere Vergrößerung giebt, als für ein kurzſichtiges. Wir ſehen aber nur Flächen und nicht Körper, weshalb man gewöhnlich die Flächenvergrößerung als Vergrößerungszahl angiebt.

Das Geſichtsfeld, d. h. in dieſem Falle der Raum, welcher durch eine mikroſkopiſche Linſe auf einmal überſehen werden kann, iſt im Allgemeinen um ſo kleiner, je ſtärker ſie vergrößert; denn wenn in obiger Figur aob der größte Winkel iſt, welcher von dem Auge durch die Oeffnung der Linſe überblickt werden kann, ſo muß das Object ab offenbar kleiner werden, um in denſelben Winkelraum hineinzupaſſen, wenn es der Linſe näher ſteht, d. h. wenn die Brennweite kleiner, alſo die Vergrößerung ſtärker wird.

Die Deutlichkeit iſt um ſo größer, je geringer die ſphäriſche und chromatiſche Abweichung (ſ. d. Art. Bd. I. S. 99 und 100) iſt. Bei ſtarken Vergrößerungen iſt überdies eine ſtarke Beleuchtung nothwendig, welche man zuweilen mit Hülfe eines kleinen zweckmäßig angebrachten Hohlſpiegels bewirkt, des ſogenannten Lieberkühn'ſchen Spiegels. Das Licht nämlich, welches auf das Object fällt, muß nun auch das vergrößerte Bild erleuchten, und da die Fläche deſſelben im Quadrate der linearen Vergrößerung größer iſt, ſo iſt die Helligkeit des Bildes in demſelben Verhältniſſe ſchwächer; ſoll mithin das Bild dieſelbe Helligkeit wie das Object haben, ſo muß die Beleuchtung im Verhältniſſe des Quadrates der Vergrößerung verſtärkt werden. Im Allgemeinen iſt die Helligkeit des Bildes, welches ein einfaches Mikroſkop von der Brennweite f und dem

Halbmeſſer der Linſenöffnung = r giebt, für eine Entfernung des deutlichen Sehens = 10 Zoll und einen Halbmeſſer der Pupille = 0,03 Zoll, gleich $\frac{r^2 f^2}{0{,}09}$. Denn ſetzen wir voraus, daß das Bild bei unbewaffnetem Auge und bei Anwendung der Linſe auf der Netzhaut dieſelbe Größe habe, ſo müßte — die Helligkeit bei unbewaffnetem Auge als Einheit geſetzt — die Helligkeit bei Anwendung der Linſe $= \frac{r^2}{0{,}03^2}$ ſein. Betrachtet nämlich ein Auge ein Object ohne Linſe, ſo erhält es von jedem Punkte deſſelben einen Lichtkegel, deſſen Baſis die Pupille iſt, im anderen Falle aber iſt die Baſis die Oeffnung der Linſe. Nun iſt jedoch das Bild bei Anwendung der Linſe größer und zwar beträgt die Vergrößerung, wie wir geſehen haben, linear $\frac{d}{f}$ und in der Fläche $\frac{d^2}{f^2}$, alſo iſt die Helligkeit in dieſem Verhältniſſe kleiner und daher nur $\frac{r^2 f^2}{0{,}03^2 . 10^2} = \frac{r^2 f^2}{0{,}09}$.

Endlich, je weiter ſich das Auge des Beobachters vom Glaſe entfernt, deſto mehr vergrößert erſcheint das Object, aber deſto kleiner wird auch das Geſichtsfeld.

Bisweilen braucht man zwei, oder ſelbſt drei ſich faſt berührende Linſen als Loupe. Nehmen wir an, daß deren zwei von den Brennweiten f_1 und f_2 in der Entfernung = e hinter einander ſtehen, ſo fragt es ſich, in welcher Entfernung E das Object vor der vorderen Linſe ſich befinden muß. Für die erſte Linſe allein müßte $\frac{1}{E} - \frac{1}{a_1} = \frac{1}{f_1}$ ſein, und alſo ſtände das Bild in der Entfernung $a_1 = \frac{E . f_1}{f_1 - E}$ vor der Linſe; dies Bild müßte aber innerhalb der vorderen Brennweite der zweiten Linſe nahe bei dem Brennpunkte ſtehen, alſo müßte $a_1 = f_2 - e$ ſein, folglich

$$f_2 - e = \frac{E . f_1}{f_1 - E},$$

woraus folgt:

$$E = \frac{f_1 (f_2 - e)}{f_1 + f_2 - e}.$$

Stehen die Linſen dicht hinter einander und darf man e = o ſetzen, ſo iſt folglich:

$$E = \frac{f_1 . f_2}{f_1 + f_2}.$$

Iſt z. B. $f_1 = f_2 = 3''$, ſo iſt $E = 1^1/_2''$; iſt $f_1 = 4''$ und $f_2 = 3''$, ſo $E = 1^5/_7''$.

Da man nun die Entfernung E als gemeinſchaftlichen Brennpunkt nehmen kann, ſo ergiebt ſich die Vergrößerung durch eine ſolche Combination für die Entfernung des deutlichen Sehens d im allgemeinen =

$$\frac{d (f_1 + f_2 - e)}{f_1 (f_2 - e)} \text{ und für } e = o, = \frac{d (f_1 + f_2)}{f_1 . f_2};$$

also für d = 10″ erhalten wir im ersten Beispiele die Vergrößerung = $6^1/_2$, im anderen = $5^5/_6$.

Wollten wir dieselbe Vergrößerung mit einer einzigen einfachen Linse erzielen, so müßte diese eine kürzere Brennweite haben; folglich hätten wir auch eine größere sphärische Abweichung, mithin eine geringere Deutlichkeit, desgleichen ein geringeres Gesichtsfeld und eine geringere Helligkeit, weil man den combinirten Linsen wegen ihrer geringeren sphärischen Abweichung eine größere Oeffnung geben kann *).

Außer den sphärischen Loupen hat man auch noch Cylinderloupen herzustellen versucht, d. h. Glascylinder, welche auf beiden Endflächen sphärisch geschliffen sind. Solche Loupen geben Bilder, die von der sphärischen Abweichung fast ganz frei sind, weil die auf die Objectseite auffallenden Strahlen, wenn diese die schwächer gekrümmte ist, nur auf den mittleren Theil der dem Auge zugekehrten Seite treffen. Coddington und Brewster haben unwesentliche Veränderungen vorgeschlagen. Daß diese Loupen sehr nahe an das Object gehalten werden müssen, ist ihrem Gebrauche hinderlich.

Die Einrichtung der Loupen ist äußerst einfach. Da sie in der Regel nur aus einer Converlinse bestehen, deren Oeffnung über $^1/_2$ Zoll beträgt, so braucht man sie nur mit einer Fassung zu versehen und sie sind zum Gebrauche fertig. Diese Fassung besteht meistens aus einem Ringe von Horn, Holz oder Elfenbein, seltener aus Metall. Man macht die Linse meistens gleichseitig, damit man sie mit gleicher Wirkung von jeder Seite brauchen kann, nur solche, welche in geübtere Hände kommen, werden planconver oder mit verschiedenen Krümmungen, deren Radien im Verhältnisse 1 : 6 stehen, gemacht. Dann müssen sie aber stets mit der converen Seite gegen das Object gerichtet sein.

Werden zwei sich fast berührende Linsen von verschiedener Brennweite combinirt, damit man mit jeder einzelnen eine besondere Vergrößerung und mit beiden zugleich eine dritte Vergrößerung erlangen kann, so werden sie meistens in Ringe gefaßt, die einen Handgriff haben, mit dem sie mittelst eines Charniers in eine Deckelvorrichtung passen. Eine Fassung aus Horn ist für diese nicht zweckmäßig, weil diese sich leicht verzieht und dann die Axen beider Linsen, wenn sie über einander liegen, leicht von einer geraden Linie etwas abweichen. Es ist gut, sie durch eine mit einer Oeffnung versehenen Zwischenplatte von einander zu trennen, welche nur die der gemeinschaftlichen Axe nahen Strahlen durchläßt und der aus dem Gebiete der ganzen Oeffnung hervorgehenden Undeutlichkeit steuert.

Will man mit einer einfachen Loupe ein starke Vergrößerung erzielen, so braucht man sie nur in eine lange Röhre zu fassen, an einem Ende die Linse einzusetzen, am anderen die Oeffnung für das Auge anzubringen. Daß man diese stärkere Vergrößerung aber nur auf Kosten des Gesichtsfeldes erlangt, ist bereits oben erwähnt worden.

Wenn man eine Linse in eine Röhre faßt, deren Länge der Brennweite der Linse gleich ist, und an dem der Augenöffnung entgegengesetzten Ende einen Deckel mit einem quadratförmigen Loche anbringt, dessen Seiten mit einer feinen Linienscala versehen sind, so kann man den Apparat als Leinwandmesser brauchen, weil die Anzahl der auf eine Seite des Ausschnittes fallenden Fäden mit der Feinheit und Dichte des Gewebes zusammenhängt.

---

*) Emsmann, physikalische Aufgaben. Leipzig 1852. S. 95. Aufg. 5.

Einfache Mikroſkope werden in der Regel mit einer Metallfaſſung verſehen, die zugleich eine Zange, einen in eine feine Spitze auslaufenden Stift und dergleichen anzubringen geſtattet. Scharfe Linſen bekommen an der Rückſeite der Faſſung den oben erwähnten Lieberkühn'ſchen metallenen Hohlſpiegel, der die Helligkeit erhöht, indem er die die Linſen verfehlenden Strahlen auf das Object zurückwirft. Es iſt kaum möglich, eine mikroſkopiſche Linſe zu verfertigen, deren Brennweite kleiner iſt als 0,4 Linien und dieſe vergrößert linear 300 Mal bei einer Entfernung des deutlichen Sehens von 10 Zoll, oder 240 Mal bei einer Annahme von 8 Zoll, ja ſelbſt die Verfertigung ſolcher Linſen fordert ſchon eine große Geſchicklichkeit. Will man mittelſt eines einfachen Mikroſkops eine ſtärkere Vergrößerung hervorbringen, ſo muß man entweder Diamant- oder Saphirlinſen anwenden *), oder ſich mit einem Glaskügelchen begnügen, welches aber nie die Deutlichkeit einer ordentlichen Linſe giebt. Man erhält ſolche Kügelchen, wenn man einen feinen Glasfaden in eine Stichflamme hält und das ſich ſehr ſchnell bildende Knöpfchen abbricht. Brewſter **) lehrt Waſſertropfen, Fiſchaugen und dergleichen ſtatt einfacher Linſen mit Vortheil gebrauchen. Ein Waſſertropfen, der freilich den Nachtheil hat, daß er unaufhörlich ſeine Krümmung ändert und in kurzer Zeit durch Verdunſtung verſchwindet, gewährt, wenn man ihn auf ein mit einem feinen Loche verſehenes Metallplättchen bringt, ſogar zwei verſchiedene Vergrößerungen, je nachdem man die Metall- oder Waſſerſeite gegen das Auge kehrt, indem der Tropfen im erſteren Falle platter iſt, als im zweiten. Ein Tropfen Alkohol, Schwefelſäure, Ricinusöl thut noch beſſere Dienſte, am beſten ſoll ein Tropfen Canadabalſam ſein. Alle dieſe Körper haben nämlich ein größeres Brechungs- und ein kleineres Zerſtreuungsvermögen als Waſſer, und geſtatten darum auch eine größere Oeffnung und geben deutlichere Bilder. — Will man Fiſchaugen benutzen, ſo muß die optiſche Axe der Kryſtalllinſe genau mit der Axe des beobachtenden Auges in parallele Richtung gebracht werden. Nur in dieſer Richtung iſt das Albumen ſymmetriſch um eine gegebene Linie angeordnet, und in keiner anderen iſt der verſchiedene Grad der Dichte — durch den die ſphäriſche Abweichung gehoben wird — in einem ſymmetriſchen Verhältniſſe zur Geſichtsaxe. Man öffnet zu dieſem Zwecke die Sclerotica eines friſch gefangenen Fiſches mit einer ſcharfen Scheere, nimmt die Linſe ſammt der Glasfeuchtigkeit heraus und legt ſie auf feines Fließpapier, welches vorher von allen Fäſerchen geſäubert worden iſt. Die abſorbirende Eigenſchaft des Papieres wird die vorſichtige Entfernung der Glasfeuchtigkeit befördern. Die Axe der Linſe durchſchneidet in ſenkrechter Richtung den ſchwarzen Ring, welcher die Anheftung der Ciliarfortſätze in der Nähe des Aequators der Linſe bezeichnet. Die von ihrer Kapſel wie mit einem zarten und glatten Häutchen überzogene, von der Glasfeuchtigkeit völlig befreite Linſe wird vorſichtig von dem Papiere in eine Höhlung herabgerollt, welche von einem kupfernen Reifen gebildet wird, der ſich auf einer runden Platte von demſelben Metalle erhebt, und durch vorſichtige Bewegung ihre Lage ſo lange verändert, bis ſich die ſchwarzen Fortſätze in paralleler Richtung mit dem Rande der runden Oeffnung an der unteren Fläche oder Platte befinden. Iſt dies

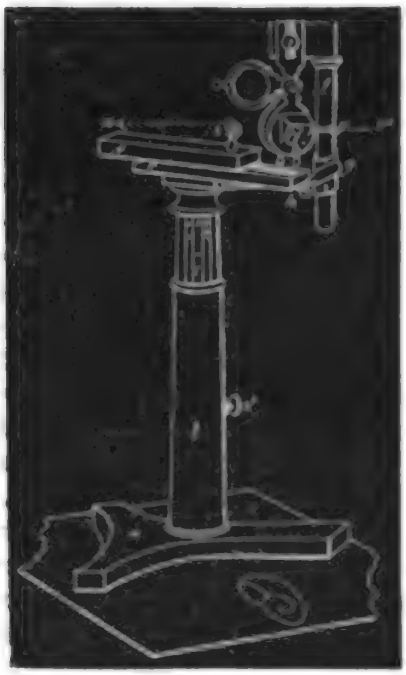
*) Art. Linſenglas. Bd. IV. S. 577. Schweigg. Journ. Bd. XLII. S. 376. Fechner's Repertorium. Bd. II. S. 180.

**) Edinburgh Journ. of science. No. III. p. 98.

geſchehen, ſo wird die Axe der Linſe ſenkrecht auf der Platte und parallel mit der Schare ſein. Die ſo zubereiteten Linſen geben ein ſehr vollkommenes Bild, und bleiben einige Stunden wirkſam brauchbar. Längere Zeit kann man ſie in der Glasfeuchtigkeit oder in einem feuchten Gefäße aufbewahren, ehe ſie untauglich werden.

Einfache mikroſkopiſche Linſen werden oft mit ihrer Faſſung in ein eigenes Poſtament eingeſetzt, das mittelſt einer beſonderen Vorrichtung dem Objecte die nöthige Entfernung von Glaſe zu geben geſtattet, und mit einem paſſenden Beleuchtungsapparate verſehen iſt *). Als einen ſolchen ganz vorzüglichen Apparat erwähnen wir das Präparirmikroſkop Schacht's **). In Betreff der Loupen bemerkt übrigens Schacht, der in allem auf das Mikroſkop Bezügliche die zuverläſſigſte Autorität iſt, daß man bei ihnen weniger auf die ſtarke Vergrößerung als auf die Schärfe des Bildes und auf die Größe des Geſichtsfeldes zu achten habe. Die gewöhnlichen, aus einem planconveren oder gar einem biconveren Glaſe beſtehenden Loupen gewährten nur für die Mitte ein richtiges Bild; bei den Doppelloupen ſei dieſem Uebelſtande abgeholfen, dieſe beſäßen in der Regel ein großes Geſichtsfeld, welches in ſeiner ganzen Ausdehnung ein richtiges Bild gewähre.

Eine ſehr zweckmäßige Verwendung der Loupe hat v. Hagenow in ſeinem Patent-Dicatopter gemacht, einem Zeichenapparate, der an Treue der Darſtellung und an Bequemlichkeit bei der Ausführung alle bisher zu ähnlichen Zwecken conſtruirten, z. B. die Camera lucida (Bd. I. S. 929), übertrifft, und da man mit demſelben Naturkörper nicht nur in natürlicher oder verkleinerter, ſondern auch vergrößerter Größe abbilden kann, in dieſem Artikel Erwähnung verdient.



Die Fußplatte a (ſ. nebenſtehende Figur) trägt die hohle Säule b; die in ihr verſchiebbare Röhre c wird durch eine Schraube d, welche durch einen Schlitz in b geht, in der verlangten Höhe feſtgeſtellt; an c iſt oben das horizontale Stück e befeſtigt, welches dem auf demſelben verſchiebbaren Objectträger f und dem ringförmigen federnden Halter g, welcher durch die Schraube h befeſtigt wird, zum Träger dient. In dem federnden Ringe g ſteckt eine Röhre l, welche oben einen horizontal vorſpringenden Arm trägt, an welchem der durch eine gemeinſchaftliche Axe verbundene Loupen- und Spiegel-Apparat an einer längsgeſchlitzten und dadurch verſchiebbaren Zunge, welche durch die Handſchraube i feſtzuſtellen iſt, hängt.

Der Spiegel-Apparat beſteht aus einer Platte k, in deren Mitte ein kleiner im

*) Baumgartner's Naturlehre Supplementbd. Wien 1831. S. 625.
**) Das Mikroſkop von Schacht. 2. Aufl. Berlin 1855. S. 19 u. Fig. 2 auf Tafel II.

Centrum durchbohrter Stahlſpiegel in geneigter Lage befeſtigt iſt; über demſelben liegt, ebenfalls in geneigter Lage, ein viereckiger Stahl- oder Glasſpiegel. Beide Spiegel ſind ſo geſtellt, daß das unter dem zweiten Spiegel mit der Fußplatte in einer Ebene liegende Zeichenpapier durch doppelten Reflex geſehen wird, während das Auge in der horizontalen Richtung m n durch die Oeffnung im erſten Spiegel nach dem Objecte o ſchaut. Hinter der Spiegelplatte liegen zwei Loupen von verſchiedener Stärke. Sie können beliebig bei Seite geſchlagen und ihre Faſſung kann leicht ſo eingerichtet werden, daß man auch andere Gläſer einſetzen kann. An der Röhre l iſt außerdem ein in p befeſtigter Vorſprung angebracht, der ſo weit dem Spiegel-Apparate entgegen tritt, daß dieſer genau eingeſtellt iſt, wenn er an demſelben anliegt.

Soll der Apparat gebraucht werden zur Abbildung eines Objectes — z. B. des Gepräges einer Münze, — ſo befeſtigt man daſſelbe auf dem Objectträger f mittelſt eines Stückchen Wachs oder dergleichen, und ſtellt — nachdem man die Loupen zurückgeſchlagen hat — den Spiegel-Apparat durch Verſchieben in dem Ringe g ſo ein, daß man die Mitte des Objects oder die Mitte der zu zeichnenden Stelle in der horizontalen Richtung m n durch die Oeffnung des geneigten Spiegels ſieht. Hierauf ſchiebt man am beſten eine doppelte Lage Zeichenpapier unter die Fußplatte und bringt das Dicatopter ſelbſt in eine ſolche Stellung, daß das Object von der linken Seite gut beleuchtet iſt. Zweckmäßig iſt es hierbei, hinter das Object einen Hintergrund von entgegengeſetzter Farbe zu bringen. Indem man jetzt, durch die Oeffnung des Spiegels ſchauend, eine gute geſchärfte Bleifeder vertical unter dem Spiegel auf das Papier führt, erblickt man dieſelbe durch Reflex auf dem Mittelpunkte des Objects und beginnt nun die Zeichnung, indem man das Schattenbild der Bleifeder auf die zu zeichnenden Theile des Objectes umherführt, zugleich aber die Bleifeder ſelbſt leiſe über das Papier gleiten läßt. Sollte man hierbei das Bild der Bleifeder plötzlich aus dem Auge verlieren, ſo braucht man nur ein wenig mit dem Auge vor dem Spiegel hin und her zu wanken. Iſt das Bleifederbild zu grell beleuchtet, ſo hebt man die linke Hand empor und verurſacht ein wenig Schatten auf dem Zeichenpapiere.

Ich habe mehrfach mit dem Dicatopter gezeichnet und bin von ſeinen Vorzügen überzeugt, auch habe ich die Principien, nach welchen der Apparat gebaut iſt, und die dabei ſonſt zur Erſcheinung kommenden Verhältniſſe einer Unterſuchung unterworfen *), auf die ich hier zwar verweiſen muß, aber von der ich doch die weſentlichſten Ergebniſſe nicht übergehen darf.

Bedingung iſt, daß die beiden Spiegel unter 45° zu einander geneigt ſind. — Die Entfernung des in dem durchbohrten Spiegel erſcheinenden Bildes von dem Durchſchnittspunkte der beiden Spiegel iſt ſtets gleich der Entfernung des Papieres von eben demſelben Punkte. — Der Spiegelapparat muß verſchiebbar ſein, um die Mitte des auf dem Objectträger befeſtigten Objectes bei horizontalem Durchſehen durch den durchbohrten Spiegel ins Auge faſſen zu können. — Die Mitte der Zeichnung liegt ſo weit vor dem Durchſchnittspunkte der beiden Spiegel, als die Oeffnung des durchbohrten Spiegels in verticaler Richtung von dieſem Durchſchnittspunkte entfernt iſt. — Desbalb muß, wie die Zeichnung auch

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 242.

zeigt, das horizontale Stück e über das Fußgeſtell herausſpringen und zwar 3 bis 4 Zoll über die Säule b. — Iſt E die Entfernung des Durchſchnittspunktes der beiden Spiegel von der Papierfläche, die Entfernung des Objectes von der die Entfernung E meſſenden Strecke = e, die Entfernung der Oeffnung in dem einen Spiegel von dem Durchſchnittspunkte beider Spiegel = Z und der Winkel, welchen der durchbohrte Spiegel mit der Strecke E bildet = β, ſo iſt das Größenverhältniß zwiſchen Bild und Object folgendes:

$$\text{Bild} = \text{Object} \cdot \frac{E + Z \cdot \sin\beta}{e + Z \cdot \sin\beta}.$$

Wenn E > e iſt, wird mithin das Bild, für $\beta = o$, ſo viel Mal größer als das Object, als die Entfernung des Durchſchnittspunktes beider Spiegel von der Papierfläche größer iſt, als die Entfernung des Objectes von dem durchbohrten Spiegel; wenn e < E iſt, wird das Bild ſo viel Mal kleiner als das Object, als die Entfernung des Objectes von dem durchbohrten Spiegel größer iſt, als die Entfernung des Durchſchnittspunktes beider Spiegel von der Papierfläche, und endlich wenn E = e iſt, wird das Bild von der natürlichen Größe des Objectes.

Will man den Apparat auf eine beſtimmte Vergrößerung einſtellen, ſo verfährt man praktiſch am beſten auf folgende Weiſe. Es werde z. B. die Stellung für 4malige Vergrößerung geſucht. Man ſticht mittelſt des Zirkels nach irgend einem Maßſtabe $^1/_4$ Zoll auf ein Stückchen ſteifen Papiers oder eine Viſitenkarte ab und klebt daſſelbe an der Stelle, welche das Object einnehmen ſoll, mittelſt Wachs auf den Objectſchieber, ſo daß die Zirkelſtriche vertical über einander liegen. Dann faßt man — wegen der 4maligen Vergrößerung — 4 Mal $^1/_4$'' oder 1'' in den Zirkel und legt denſelben ſo aufgeſperrt unter die Spiegel auf untergelegtes weißes Papier und bringt die reflectirten Zirkelſpitzen mit den beiden geſtochenen Punkten auf dem Kartenſtücke zur Deckung. Liegen die Punkte noch zu eng für Zirkelſpitzen, ſo erhöht man das Stativ ſo weit, bis die Zirkelſpitzen genau in die Striche paſſen; im entgegengeſetzten Falle wird das Stativ niedriger geſchoben. — An dem Apparate ſind übrigens die Vergrößerungen an der verſchiebbaren Röhre angezeichnet und zwar in drei Colonnen, nämlich für die erſte, für die zweite und für beide vereinte Loupen.

Damit das Licht von der Zeichnung oder der Bleiſtiftſpitze direct auf den undurchbohrten Spiegel fallen kann, aber den durchbohrten nicht trifft, ſo giebt man dem durchbohrten Spiegel eine ſchräge Stellung und am zweckmäßigſten iſt $\beta = 20$ bis 25^0.

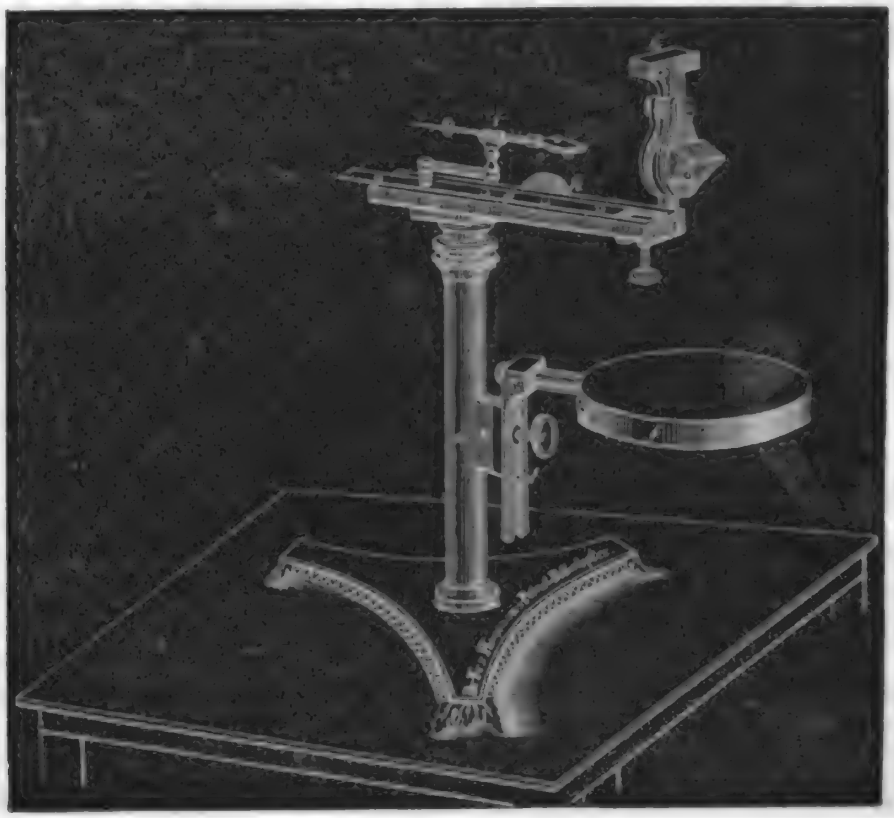
Die größte Höhe, bis zu welcher das Dicatopter ausgezogen werden kann, iſt 10 bis 12 Zoll, da dies die Entfernung des deutlichen Sehens iſt. — Der undurchbohrte Spiegel reicht von dem Durchſchnittspunkte beider Spiegel $^3/_4$ Zoll weit und braucht nur $^1/_2$ Zoll lang zu ſein, ſo daß er von dem Durchſchnitte beider Spiegel noch $^1/_4$ Zoll abſteht. — Die Oeffnung des durchbohrten Spiegels iſt von dem Durchſchnitte beider nur wenig über $^1/_2$ Zoll entfernt; er ſelbſt hat einen Halbmeſſer von höchſtens 0,14'', oder im Durchſchnitt von $^1/_8$ Zoll. — Der Theil, welcher den durchbohrten Spiegel trägt und einer Loupenfaſſung ähnlich iſt, darf nicht über $1^1/_2$ Zoll von dem Durchſchnitte beider Spiegel an vertical herabhängen.

Schiebt man zwiſchen Auge und Object hinter dem ſchiefen Spiegel eine

Loupe ein, ſo wird das Verhältniß der Größe des Bildes zu der des Objectes je nach der vergrößernden Kraft der Loupe abgeändert, und wenn man nun mit dem Apparate Zeichnungen bis zu einem Durchmeſſer von 8 bis 10 Zoll entwerfen kann, ſo ergiebt ſich, wie man von mikroſkopiſchen Gegenſtänden bequem ſehr ſtark vergrößerte Zeichnungen in aller Treue und Schärfe wird herſtellen können.

Der Erfinder, Herr v. Hagenow, iſt fortwährend bemüht geweſen, den Apparat noch zu vervollkommnen. Es beſtehen dieſe Verbeſſerungen nach ſchriftlicher Mittheilung zunächſt in einer großen 4 bis $4^1/_2$'' im Durchmeſſer haltenden Linſe, welche dergeſtalt an dem Stative des Dicatopters in horizontaler Lage befeſtigt wird, daß der Mittelpunkt der Linſe genau vertical unter dem Loche des kleinen Spiegels liegt. — Der Linſenapparat kann entweder aus einem oder beſſer aus zwei planconveren Gläſern beſtehen, deren convexe Seiten in der Faſſung einander zugekehrt liegen.

In der beiſtehenden Figur ſieht man an der Vorderſeite der Säule a, in einer Höhe von etwa 3 Zoll über der Fußplatte ein Stück Meſſing angelöthet: b. — In der Mitte der vorderen verticalen Ebene deſſelben iſt eine Mutter



für die Handſchraube c eingeſchnitten und etwas tiefer iſt ein kleiner Leiteſtift bei d eingelaſſen. Beides dient zur Aufnahme, zur verticalen Leitung und Verſchiebung und zur Befeſtigung des gabelig geſpaltenen Stückes e, welches die Faſſung der Linſen f trägt. — Mittelſt dieſer Vorrichtung kann die Linſe für jedes Auge in den paſſenden Focus genau eingeſtellt und fixirt werden. — Der runde Arm

an der Linſenfaſſung iſt in dem Kopfe des Gabelſtückes beweglich, ſo daß man nach halber Umdrehung der Faſſung den Linſenapparat bequem in das Einlegekäſtchen verpacken kann.

Dieſer Apparat erfüllt einen doppelten Zweck, indem er einestheils dazu dient, um unter demſelben mikroſkropiſche Zeichnungen viel ſauberer ausführen zu können, und anderentheils fällt ein ſolches Bild in der Wirklichkeit um ſo viel kleiner aus, als die Linſen daſſelbe beim Zeichnen vergrößern. Man kann daher, eben bei Anwendung der Linſen auf die Zeichnung mikroſkopiſcher Gegenſtände, das Inſtrument auf eine ſtärkere Vergrößerung einſtellen und das Object ſchärfer ſehen und detaillirter zeichnen, als es bei ſchwächerer Vergrößerung möglich iſt. Iſt z. B. das Stativ auf 8malige Vergrößerung eingeſtellt und laſſen die Linſen das unter demſelben entſtehende Bild doppelt ſo groß erſcheinen, als es wirklich iſt, ſo wird das Bild in der Wirklichkeit nur in 4maliger Vergrößerung ausgeführt werden; will man nun das Bild in 8maliger Vergrößerung haben, ſo ſtellt man das Stativ auf 16 ein, wozu beide Loupen erforderlich ſind, und wodurch das Object noch einmal ſo groß erſcheint und natürlich viel genauer geſehen wird, als bei Einſtellung auf eine 8malige Vergrößerung mit nur einer Loupe und ohne Anwendung der Linſen. Hieraus folgt, daß man mittelſt Anwendung der Linſen ſelbſt Bilder in ſchwächeren Vergrößerungen erzielen kann, als man mit der ſchwächſten Loupe ſonſt mit dem Apparate auszuführen nicht im Stande iſt. Ja man kann ſelbſt bis zur Verkleinerung damit gehen, indem man beide Loupen zurückſchlägt und unter Anwendung z. B. verdoppelnder Linſen das Object mit unbewaffnetem Auge zeichnet, in welchem Falle man ein Bild in halber Größe des Objects erhält. Je nach der Schärfe der angewendeten Linſen und Loupen ſind unendliche Veränderungen möglich.

Zur leichteren Einſtellung des Objects hat Herr v. Hagenow ferner den Objectſchieber g an der unteren Fläche mit einer Zahnſtange und einem Triebe verſehen, wovon man in der Figur, an der abgekehrten Seite, den für die rechte Hand bequem gelegten Triebknopf h theilweiſe ſieht.

Der Spiegelträger k iſt in ſeinem verticalen Stücke ſo abgeändert, daß er aus zwei Röhren beſteht, welche federnd ſich einander ſchieben, ſo daß man die Höhe der Spiegel bis faſt auf das Doppelte verändern kann.

Endlich iſt auch noch ein Objecthalter i hinzugekommen; derſelbe beſteht aus einem Drahte, der an einem Ende zugeſpitzt iſt und am anderen eine Federpincette trägt und von einer Federklemme gehalten wird, die mit einem nach allen Seiten beweglichen Untergeſtelle verbunden, das eine oder andere Ende des Drahtes mit dem angehefteten Objecte in jede beliebige Lage bringen läßt. Dieſer Träger-Apparat kann, je nachdem es erforderlich iſt, mit ſeinem coniſchen Zapfen in irgend eines der 5 Löcher des Objectſchiebers g geſteckt werden *).

Einen ebenfalls zum Zeichnen eingerichteten Loupenapparat hat Chevalier angegeben **). A und B (ſ. umſtehende Fig. I.) ſind in ſeinem Apparate plan-

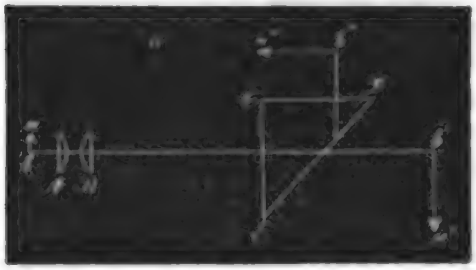
---

*) Ein Dicatopter mit allen Verbeſſerungen und mit ſauberem Mahagoni-Einlegekäſtchen koſtet 47 Thlr., ganz einfache, aber zum vollkommen richtigen Zeichnen ausreichende koſten 4½ Thlr. Dazwiſchen liegen noch Sorten in Mahagoni à 15 und 17 Thlr., und in Meſſing à 22 Thlr.; außerdem noch 2 Sorten à 26 und 36 Thlr.

**) Bulletin de la société d'encouragement. Nov. 1822.

convexe Linſen, deren Convexitäten einander zugekehrt ſind. Wir haben bereits oben geſehen, daß zwei dicht hinter einander ſtehende Linſen wie eine einzige von kürzerer Brennweite wirken; bringt man nun ein Object ab außerhalb der Brennweite an, ſo würde ein umgekehrtes vergrößertes Bild a'b' hinter B entſtehen. Chevalier läßt dieſes Bild nicht ſofort zu Stande kommen, ſondern bringt hinter B ein rechtwinkeliges, gleichſchenkeliges Prisma DCE an, deſſen Hypotenuſenfläche DE mit Papier belegt iſt; die durch CE hindurchdringenden Strahlen werden dann von DE reflectirt, ſo daß man oberhalb CD auf einem matten Glaſe den Gegenſtand in a'' b'' abgebildet ſehen und ohne Beſchwerde nachzeichnen kann.

I.



Eine genauere Beſchreibung verdient an dieſer Stelle noch das von Wollaſton *) angegebene Doppelmikroſkop, welches ſich beſonders durch einen eigenen vortheilhaften Beleuchtungsapparat auszeichnet.

II.

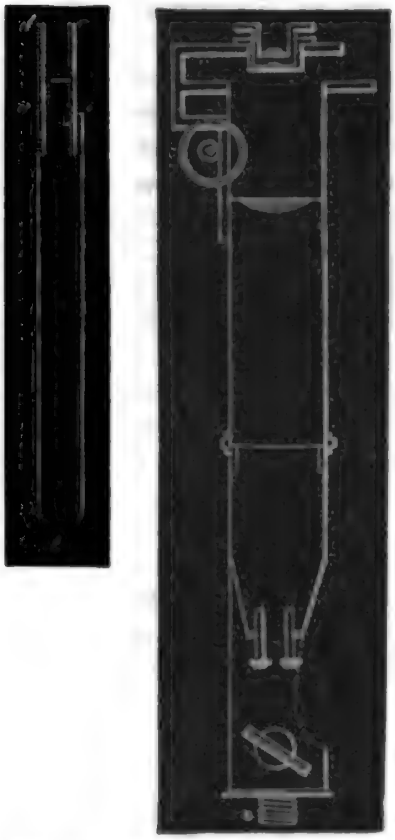
Beleuchtungsapparat: TUBE (ſ. Fig. II.) iſt eine Röhre von ungefähr 6 Zoll Länge und einem ſolchen Durchmeſſer, daß alle Reflexion des fremdartigen Lichtes von den Seiten her verhindert wird, zu welchem Ende es noch ſicherer iſt, das Rohr inwendig zu ſchwärzen. Am Ende des Rohres, oder in demſelben ein wenig vom Ende, befindet ſich eine planconvere Linſe ET, die eine Brennweite von ungefähr $^3/_4$ Zoll beſitzt und mit ihrer flachen Seite dem Gegenſtande, der betrachtet werden ſoll, zugewandt iſt. Am Boden iſt eine kreisrunde Oeffnung A von ungefähr 0,3 Zoll Durchmeſſer; ſie iſt beſtimmt, das vom Spiegel R reflectirte Licht zu begrenzen, welches darauf von der Linſe ET $^8/_{10}$ Zoll über derſelben in deren Brennpunkte a vereinigt wird, ſo daß daſelbſt, in der Ebene des zu unterſuchenden Gegenſtandes, ein deutliches Bild von der Oeffnung A entſteht. Die Länge der Röhre und die Entfernung der planconveren Linſe von der Oeffnung können jedoch etwas abgeändert werden. Die hier gegebene Länge von 6 Zoll wurde für die Höhe des Auges über dem Tiſche am zweckmäßigſten befunden. Das Bild der Oeffnung A darf nicht mehr als 0,05 Zoll im Durchmeſſer halten, es ſei denn, die Vergrößerungen wären ſchwächer als die hier beabſichtigten. Die Stärke der Beleuchtung hängt von dem Durchmeſſer der Beleuchtungslinſe, ſo wie von dem Verhältniß der Oeffnung zu deren Bilde ab, und

*) Philos. Transact. f. 1829. T. I. p. 9. Pogg. Ann. Bd. XVI. S. 176.

kann demgemäß nach Wunſch des Beobachters abgeändert werden. Die Linſe E T oder die Oeffnung A muß eine Vorrichtung haben, vermöge welcher man den Abſtand zwiſchen beiden verändern und das Bild der Oeffnung in die Ebene des zu unterſuchenden Gegenſtandes bringen kann, was vielleicht am zweckmäßigſten dadurch geſchieht, daß man beide Röhren in einander ſchraubt.

Linſenapparat des Mikroſkopes ſelbſt: Man ſieht bei M (ſ. vorſtehende Fig. II.) einen Apparat, der zwei in einander geſteckten Fingerhüten nicht unähnlich iſt, nur daß hier die Hüte cylindriſch ſind, und anſtatt blos in einander geſteckt zu werden, in einander eingeſchraubt ſind. Wo die Spitze des Fingerhutes ſein würde, ſind die Hütchen durchbohrt, und in dieſen Oeffnungen ſind die zwei planconveren Linſen, mit den ebenen Flächen nach dem Gegenſtande zugekehrt, angebracht (wie in der Figur zu ſehen), welche das zuſammengeſetzte Mikroſkop bilden und deren Brennweiten ungefähr im Verhältniß von 3 : 1 ſtehen. Durch Schrauben der Hütchen laſſen ſich dieſe Linſen leicht in einen ſolchen Abſtand von einander bringen, daß ſie den beſtmöglichen Effect gewähren. Zur Beſtimmung des Abſtandes zwiſchen den ebenen Flächen der Linſen iſt von Wollaſton folgende Vorrichtung angebracht worden. Ein Metalldraht a b c (ſ. nebenſteh. Fig. I.) wird in die Form einer Zwinge gebogen, und an den Enden mit zwei kleinen Glasplatten d e verſehen. Zwiſchen dieſe Glasplatten wird, wie es die Figur zeigt, das innere Hütchen oder das, worin die Linſe mit längerer Brennweite ſitzt, eingeſchoben, und dann der Abſtand zwiſchen den äußeren Flächen der Glasplatten mit einem Taſterzirkel gemeſſen. Dann ſchraubt man das kleine Hütchen in das größere und unterwirft es gemeinſchaftlich mit dieſem derſelben Operation. Die Zunahme des Abſtandes zwiſchen den beiden äußeren Flächen der Glasplatten wird dann offenbar gleich ſein dem Abſtande zwiſchen den ebenen Flächen der Linſen. Eine Unterlage zum Tragen der Gegenſtände, verſehen mit der nöthigen Seitenbewegung, wird zwiſchen dem Mikroſkop und der Linſe E T in a befeſtigt. Dieſe Einſtellung zum deutlichen Sehen geſchieht mittelſt einer Vorrichtung, die an dem Träger des zuſammengeſetzten Mikroſkopes angebracht iſt. Zur Vollkommenheit dieſes Mikroſkopes iſt erforderlich, daß die Axen der Linſen und das Centrum der Oeffnung A in einer und derſelben geraden Linie liegen. Dies iſt der Fall, wenn das Bild der Oeffnung in ſeiner ganzen Ausdehnung erleuchtet und ſein Umfang überall gleich gut begrenzt iſt. Des Nachts kann man ſich zur Beleuchtung mit großem Vortheil einer gemeinen Ochſenaugenlaterne bedienen.

I. II.



Wollaſton empfiehlt folgende Anordnung des ganzen Inſtruments: Eine Röhre von hinreichender Länge und Weite (ſ. beiſtehende Fig. II.) bildet den

Körper des Inſtrumentes. Das eine Ende derſelben verſchließt eine Platte, verſehen mit einer Schraube, mittelſt welcher die Röhre auf dem Deckel des als Fußgeſtell dienenden Kaſtens zu dieſem Inſtrumente befeſtiget werden kann. Oberhalb dieſer Platte hat die Röhre, wie durch die punktirte Linie angedeutet iſt, einen Ausſchnitt, damit Licht auf den kleinen Spiegel falle, welcher an einer durch die Mitte der Röhre gehenden Horizontalaxe befeſtigt iſt. Die Neigung dieſes Spiegels kann durch einen auswendig an der Axe befindlichen Knopf beliebig verändert werden, die übrige Einſtellung, ſenkrecht darauf, geſchieht durch Drehen des Kaſtens dieſes Mikroſkopes. Ueber der Oeffnung iſt in das Rohr ein koniſcher Einſatz eingelöthet, und in dieſen wiederum ein kleines cylindriſches Rohr, welches die zuvorerwähnte Blendung trennt, eingeſchraubt. Die planconvexe Linſe iſt in einem federnden Rohre befeſtigt, welches in dem größeren ſich verſchieben läßt. Die Lage der Linſe kann demnach ſo verändert werden, daß dadurch das Bild der Blendung in die Ebene des zu betrachtenden Gegenſtandes kommt. Ein Stück Tafelglas von zwei Quadratzoll, oder weniger, wenn man es für angemeſſen hält, dient am Ende des Rohres als Unterlage, und hat zwei gegen einander rechtwinkelige Seitenbewegungen. Der Einſatz, in welchem die Vergrößerungsgläſer ſitzen, kann durch Zahnſtange und Triebrad verſchoben werden, doch müſſen bei dieſer Einrichtung die mikroſkopiſchen Linſen ſich durchaus genau in der verlängerten Axe der Röhre bewegen. Das Rohr beſteht aus zwei in einander geſchobenen Stücken von gleicher Länge, wodurch, wenn ſie von einander genommen ſind, das ganze Inſtrument in einen Kaſten von ungefähr 4 Quadratzoll eingepackt werden kann. Vorausgeſetzt, daß die planconvexe Linſe ſich in gehörigem Abſtande von der Unterlage befinde, kann man das Bild der Blendung leicht in die Ebene des Gegenſtandes bringen. Man befeſtigt nämlich einen Draht, mit etwas Wachs quer über die Oeffnung derſelben, beobachtet einen auf die Glasplatte der Unterlage gelegten Gegenſtand mit dem Mikroſkop, und ändert die Entfernung der Blendung von der Linſe mittelſt der Schraube an erſterer ſo lange ab, bis das Bild des Drahtes gleichzeitig mit dem Gegenſtande auf der Glasplatte deutlich geſehen wird.

2. Zuſammengeſetztes Mikroſkop.

Die vorzugsweiſe ſogenannten zuſammengeſetzten Mikroſkope — denn man könnte naturgemäß jedes aus mehr als einer Linſe beſtehende Mikroſkop ein zuſammengeſetztes nennen — beruhen darauf, daß das durch ein einfaches Mikroſkop erzeugte Bild nicht ohne Weiteres durch das Auge aufgefangen, ſondern durch ein zweites einfaches Mikroſkop betrachtet wird. Bei dem einfachen Mikroſkope iſt das Bild, welches die Linſe erzeugt, ein mathematiſches *), indem das Object innerhalb der Brennweite ſteht; bei dem zuſammengeſetzten Mikroſkope hingegen erzeugt die Objectivlinſe ein phyſiſches Bild, indem das Object außerhalb der Brennweite derſelben ſich befindet, und dies phyſiſche Bild wird nochmals durch eine convexe Linſe, wie durch ein einfaches Mikroſkop oder eine Loupe betrachtet. Das Mikroſkop von Chevalier (ſ. oben) könnte man gewiſſermaßen hierher rechnen, doch fehlt demſelben die als einfaches Mikroſkop wir-

*) Vergl. Art. Linſenglas. Bd. IV. S. 558.

kende Linſe. Daß jede der hierbei angewendeten Linſen durch ein Syſtem combinirter Linſen vertreten werden kann, verſteht ſich nach dem bei den einfachen Mikroſkopen Angeführten von ſelbſt, da hierbei ein Glas nur zur Verſtärkung der Wirkſamkeit des anderen dient.

a) Das dioptriſche Mikroſkop.

Der Gegenſtand a b ſtehe (ſ. beiſtehende Fig. I.) außerhalb der Brennweite der converen Linſe A, ſo wird hierdurch ein umgekehrtes vergrößertes phyſiſches Bild a' b' hinter A erzeugt; dieſes ſtehe innerhalb der Brennweite der Loupe B, ſo wird das Auge bei o von dem vergrößerten umgekehrten phyſiſchen Bilde a' b' ein nochmals vergrößertes mathematiſches Bild a'' b'' in gleicher Stellung erblicken. Die Figur verſinnlicht zugleich den Gang der Lichtſtrahlen. Da, wenn die Vergrößerung bedeutend ausfallen ſoll, das Object a b ſehr nahe an dem Brennpunkte von A ſtehen muß, wodurch dann a' b' wieder ſehr weit hinter A ſeine Stelle erhält, ſo hat man, um den Apparat zu verkürzen, zwiſchen A und den Ort des Bildes a' b' eine Sammel- oder Collectivlinſe eingeſchoben *).

I.

In beiſtehender Fig. II. iſt der Gang der Lichtſtrahlen veranſchaulicht, wenn ein Sammelglas — hier B — eingeſchoben wird; der Abſtand zwiſchen A und C iſt kleiner geworden, und doch erreicht man dieſelbe Vergrößerung zugleich mit einem vergrößerten Geſichtsfelde. Daß man auch die Ocularlinſe aus zwei Gläſern zuſammenſetzen kann, iſt ſchon bemerkt, nur wollen wir hier nochmals darauf hinweiſen, da dann das Mikroſkop aus 4 Gläſern beſteht. Offenbar wird bei dem zuſammengeſetzten Mikroſkope eine bei weitem ſtärkere Vergrößerung, als bei dem einfachen erlangt werden können, aber es wird auch die Deutlichkeit und Klarheit des Bildes verringert, dem nur durch eine ſehr genaue und ſorgfältige Einrichtung des Inſtrumentes abgeholfen werden kann, worin die Künſtler neueſter Zeit allerdings das Ueberraſchendſte leiſten. Auf die vorzüglichſten Mittel, um dies zu erreichen, werden wir im Laufe dieſes Artikels aufmerkſam machen; hier bemerken wir nur vorweg, daß beſondere Vortheile die achromatiſchen Linſen gewähren, wegen deren Art. Linſenglas Bd. IV. S. 571 bis 577 zu vergleichen iſt, woſelbſt auch über Kellner's orthoſkopiſches Ocular die nöthigen Nachweiſe ſich finden.

II.

Was die Ermittelung der vergrößernden Kraft betrifft, das werden wir weiter unten näher ausführen. Hier möge nur theoretiſch die Beſtimmung der Vergrößerung eine Stelle finden bei einem zuſammengeſetzten Mikroſkope, welches nur aus einer Objectivlinſe von der Brennweite f_1 und einer Ocularlinſe von der Brennweite f_2 beſteht. Nehmen wir an, daß das Object in einer Entfernung $= e$ außerhalb der Brennweite der Objectivlinſe ſich befindet und daß d die

*) Vergl. Art. Linſenglas. Bd. IV. S. 560.

Entfernung des deutlichen Sehens bedeutet, ſo ergiebt ſich aus $\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{f}$, da $a = f_1 + e$ und $f = f_1$ iſt, $\alpha = \frac{(f_1 + e) f_1}{e}$. Dies Bild ſteht innerhalb der Brennweite der Ocularlinſe nahe am Brennpunkte, oder die Ocularlinſe wirkt auf dies Bild als Loupe. Da nun die Vergrößerung durch die Objectivlinſe $= \frac{\alpha}{a} = \frac{f_1}{e}$ iſt, und, wie wir oben bei den Loupen geſehen haben, die Vergrößerung durch die Ocularlinſe $= \frac{d}{f_2} + 1$, ſo ergiebt ſich die geſammte Vergrößerung $= \frac{f_1}{e} \cdot \frac{d + f_2}{f_2}$; oder, mit Vernachläſſigung von 1, $= \frac{f_1}{e} \cdot \frac{d}{f_2}$. Hieraus ſehen wir zugleich, daß $e < f_1$ ſein muß, wenn die Objectivlinſe zur Vergrößerung beitragen ſoll; denn iſt $e = f_1$, ſo iſt $\frac{f_1}{e} = 1$ und das Bild an Größe dem Objecte gleich; iſt $e > f_1$, ſo iſt $\frac{f_1}{e} < 1$ und das Bild ſogar kleiner als das Object; wäre endlich e negativ, d. h. ſtände das Object innerhalb der Brennweite der Objectivlinſe, ſo würde das Bild kein phyſiſches und das zuſammengeſetzte Mikroſkop wäre ganz unbrauchbar.

Ein gewöhnliches Mikroſkop nach ſeiner äußerlichen Form ſtellt ſammt ſeinem Geſtelle beiſtehende Figur vor. In der inwendig geſchwärzten Röhre R befindet ſich bei l das Objectiv, bei l′ das Ocular und am unteren Ende des oberen Auszuges das Sammelglas. Die Objecte werden auf oder zwiſchen Glas auf das durchbrochene Tiſchchen o gelegt, welches mittelſt einer Schraube dem Objective ſo lange genähert wird, bis das Auge über l′ das Bild des Objectes möglichſt deutlich erblickt. Der kleine Hohlſpiegel s läßt ſich horizontal und vertical um eine Axe drehen, und muß ſo geſtellt werden, daß er das auf ihn fallende Licht gegen das Object wirft. Die Entfernung des Objectes von dem Objectivglaſe muß, wie ſchon bemerkt, etwas größer ſein, als die Brennweite dieſes Glaſes.

Bei einem guten Mikroſkope iſt zu achten: auf die Gläſer, auf das Geſtell, auf den Tiſch und auf den Beleuchtungsapparat.

Die Gläſer müſſen ſcharfe und klare Bilder geben. Dies hängt namentlich ab von dem Objectivglaſe, welches deshalb mit der größten Sorgfalt gearbeitet ſein muß, namentlich keinen farbigen Saum geben darf. Das Oculargas vergrößert nun nochmals, alſo auch die Fehler des Objectivglaſes; weshalb man lieber ſtarke Objectivgläſer und ſchwache Oculargläſer nimmt. In der Regel gehören zu einem ſolchen Mikroſkope mehrere Objectivlinſen mit verſchiedenen Brennweiten, und auch mehrere Oculare. Bei den größten Gattungen befinden ſich ſechs Objective und zwei oder gar drei Doppeloculare. Erſtere laſſen ſich meiſtens

am gehörigen Orte aufschrauben, manchmal sind sie aber in einer Scheibe befestigt, die sich um eine mit der Axe des Instrumentes parallele Axe bewegen läßt, so daß man blos durch Drehen dieser Scheibe das Objectiv wechseln kann, eine Einrichtung, welche zwar beim Gebrauche sehr bequem ist, aber in der Ausführung große Vorsicht und Genauigkeit erfordert, indem der geringste Fehler in der Lage der Drehungsaxe schon einen merklichen Centrirungsfehler im Instrumente erzeugt. Die Linsen sind gewöhnlich numerirt, und zwar die schärfste mit der höchsten Nummer; man erkennt aber den Grad der Schärfe überdies aus ihren Oeffnungen, indem diese in dem Maße kleiner werden, wie die Vergrößerungsvermögen zunehmen. Bei den neueren Mikroskopen werden zwei oder drei Objective zugleich aufgeschraubt, so daß sie sich fast berühren; dabei ist es aber nicht gleichgültig, welche Linsen man combinirt, und der Künstler muß angeben, welche der vorhandenen sich verbinden lassen. Es sind dies die aplanatischen Linsen. Da beim Gebrauche verschiedener Objective das Object auch eine verschiedene Entfernung vom Objectivglase haben muß, so ist es nöthig, daß entweder der Tisch, welcher zum Objectivträger bestimmt ist, oder die Röhre mit den Gläsern beweglich ist. Das Letztere verdient den Vorzug und geschieht zunächst durch die sogenannte grobe Einstellung mittelst einer gezahnten Stange und eines Getriebes oder durch Verschiebung des Rohres in einer Hülse. Das Verschieben erfordert Gewandtheit, namentlich beim genauen Einstellen. Deshalb bringt man außer der groben Einstellung zu der feineren in der Regel noch eine Mikrometerschraube an. In neuerer Zeit bewirkt man auch oft die feinere Einstellung durch eine klappenartige Bewegung des Tisches, indem sich die Stellung desselben zur Säule des Stativs mittelst einer Schraube im Winkel von etwa 88° bis 92° verändern läßt. Es hat sich diese Einrichtung in der Praxis sehr bewährt.

Das Gestell oder Stativ eines Mikroskops soll dem Instrumente die nöthige Festigkeit gewähren und ihm doch auch die nöthigen Bewegungen gestatten. Manches Instrument läßt sich sowohl in die verticale als in die horizontale Lage bringen; an einigen kann man den Körper desselben längs des ganzen Tischchens verschieben und so sehr schnell von einem Objecte zu einem anderen, oder von einem Theile desselben zu einem anderen übergehen. Manche Beobachter wollen die Objectivlinse eines zusammengesetzten Mikroskops auch für sich als einfaches Mikroskop benutzen; darum läßt sich an einigen Instrumenten das Objectiv eigens an das Stativ anschrauben und über dies dann die Röhre mit dem Reste der Gläser so anbringen, daß man letztere wegnehmen kann und nur erstere übrig bleibt. Indessen so gut dies in mancher Hinsicht sein mag, so kann man sich doch nicht verhehlen, daß bei so vielfachen Bewegungen der einzelnen Theile gegen einander die Centrirung stets etwas leiden muß. — Wesentlich ist, daß die Höhe des Stativs das Arbeiten an demselben im Sitzen gestattet.

Die Einrichtung des Tisches ist für ein brauchbar sein sollendes Mikroskop von großem Belange. Er muß ein Glasmikrometer, ferner einen Aufsatz mit einem Planglase aufnehmen können, auf welchem man kleine Tropfen von Flüssigkeiten anbringt, die man durch das Mikroskop betrachten will, dann einen größeren aus zwei Hohlgläsern bestehenden, zwischen welchen man kleine lebende Thiere einsperrt und in das Gesichtsfeld des Instrumentes bringt; ferner muß er mit einer Klemme versehen sein, in welche die Objectträger geschoben und daselbst fest gehalten werden können; endlich muß sich noch ein Zängelchen anstecken lassen, in

welches man kleine Objecte einzwängt. — An einigen größeren Mikroſkopen beſteht der Tiſch aus zwei über einander befindlichen durchbohrten Platten, von denen die untere feſt iſt, die obere aber nach zwei Richtungen, die mit einander einen rechten Winkel bilden, mittelſt Schrauben bewegt werden kann. Auf dieſer Platte befindet ſich dann noch ein gabelförmiges Stück, welches durch eine Spiralfeder an die Platte angedrückt wird, aber durch einen Druck mit dem Finger leicht gehoben werden kann und die Klemme abgiebt, welche den Objectträger feſthält. Schacht ſpricht ſich gegen dieſe Einrichtung aus. An den neuen Inſtrumenten von Oberhäuſer rühmt hingegen derſelbe beſonders, daß der ſonſt durchaus unbewegliche Tiſch ſammt dem Mikroſkoprohre um die Axe vertical drehbar iſt, weil dies ſowohl bei ſchief durchfallendem, als auch bei auffallendem Lichte ſehr wichtig wird.

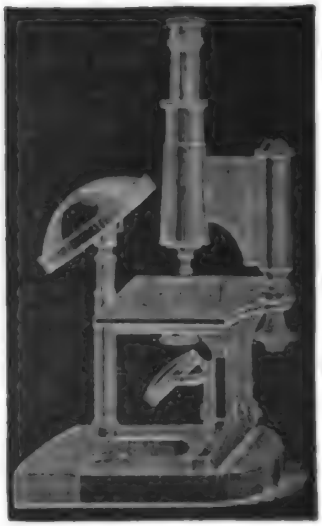
Der Beleuchtungsapparat iſt ein ganz beſonders wichtiger Theil. Für durchſichtige Objecte wendet man einen Plan- oder Hohlſpiegel an, der ſich unter dem Tiſche befindet, für undurchſichtige hingegen eine Sammellinſe. Hat der unter dem Tiſche befindliche Spiegel auf einer Seite einen Planſpiegel, auf der anderen einen Hohlſpiegel, ſo bedient man ſich des erſteren für ſchwache Vergrößerungen. Amici bringt nur einen Planſpiegel an, aber über demſelben eine Sammellinſe, die ſich ſowohl in der Höhe wie ſeitlich verſchieben läßt, ſo daß er den Spiegel allein benutzen kann, aber auch im Verein mit der Sammellinſe, wodurch er die Wirkung des Hohlſpiegels erzielt. Da überdies durch das Auf- und Abwärtsſchieben der Sammellinſe der Brennpunkt derſelben in eine andere Lage gebracht werden kann, ſo hat man die Intenſität des Lichtes in ſeiner Gewalt *). Das Letztere erreicht Oberhäuſer durch Auf- und Abwärtsſchieben ſeines Hohlſpiegels. Wichtig iſt es, das Licht ſchief auffallen laſſen zu können, indem dadurch Sachen ſichtbar werden, die man ſonſt gar nicht zu erkennen vermag. Hierzu iſt die oben angegebene Drehung des Tiſches um ſich ſelbſt, wie es Oberhäuſer ausgeführt hat, ganz beſonders praktiſch. Nachez hat daſſelbe durch ſein Prisme oblique zu erreichen geſucht, welches er zwiſchen Spiegel und Objectiſch, um ſeine Axe drehbar, anbrachte. Eine ähnliche Wirkung hat die Sammellinſe Nobert's, welche an der unteren Seite plan, an der oberen hingegen am Rande conver und in der Mitte concav geſchliffen iſt. Daß ſich hier die Lichtſtrahlen auf dem Gegenſtande kreuzen, iſt ſogar noch ein Vortheil, indem es auf die Lage des Gegenſtandes gar nicht ankommt. — Die Beleuchtungslinſe für undurchſichtige Gegenſtände iſt in der Regel zu klein, weshalb Oberhäuſer ſeinen großen Mikroſkopen eine größere Sammellinſe beigiebt, die auf einem beſonderen, ſchweren Stative nach verſchiedenen Richtungen drehbar iſt. Da ſich das Oberhäuſer'ſche Mikroſkop beſonders auszeichnet, ſo geben wir zu ſeiner Veranſchaulichung noch beſonders in umſtehender Figur eine Abbildung deſſelben. — Den Lieberkühn'ſchen Spiegel, der auf die Objectivfaſſung aufgeſteckt werden konnte, und das vom unteren Spiegel neben dem Objecte vorbeigehende Licht wieder auf daſſelbe zurückwarf und es ſo beleuchtete, wendet man heutzutage gar nicht mehr an.

Zu dem Beleuchtungsapparate gehören noch als weſentlicher Theil die Blen-

*) Ann. de Chim. et de Phys. Ser. III. T. XII. p. 117. Pogg. Ann. Bd. LXIV. S. 476, woſelbſt auch eine Abbildung des Inſtruments ſich findet.

Digitized by Google

dungen, Oeffnungen in geſchwärzten Scheiben oder Röhren. Drehbare Scheibenblendungen unterhalb des Gegenſtandes in einer Entfernung bis zu einem Zolle ſind unzweckmäßig; beſſer wirken einfache, in der Mitte durchbohrte Platten unmittelbar unter der Objectplatte; am vortheilhafteſten erweiſen ſich die Cylinderblendungen, die überdies verſchiebbar ſein müſſen, um ſie der Objectplatte nähern oder von ihr entfernen zu können. Hat man keine Blendungen, ſo muß man durch Beſchattung mittelſt der Hand ſich zu helfen ſuchen.



Beim Gebrauche eines Mikroſkops hat man die Abſicht, entweder von einem kleinen Objecte nur ein vergrößertes, deutliches und klares Bild zu erhalten, oder zugleich auch die, die Größe des Gegenſtandes zu beſtimmen. — Zur Erreichung der erſten Abſicht wird blos erfordert, den Gegenſtand, um deſſen Betrachtung es ſich handelt, gehörig zubereitet in die paſſende Lage und Entfernung von der Objectivlinſe zu bringen und ihm den beſten Grad der Beleuchtung zu ertheilen. Ueber die Zubereitung des Objectes zu mikroſkopiſchen Betrachtungen laſſen ſich keine allgemeinen Regeln aufſtellen, da dieſe mit der Natur der Objecte zu ſehr wechſelt; nur iſt zu bemerken, daß darauf ungemein viel ankommt, und daß mancher auch mit dem beſten Mikroſkope das nicht ſieht, was der andere mit einem minder guten wahrnimmt, weil er das Object nicht zweckmäßig zu mikroſkopiſchen Betrachtungen zuzurichten verſteht. Dieſe Objecte werden meiſtens auf oder zwiſchen zwei Glasplatten gelegt; letzteres thut man aber nur, wenn man dieſelben längere Zeit hindurch aufbewahren oder als Probeobject erhalten will; man läuft aber immer Gefahr, wegen kleiner Unreinigkeiten des Glaſes eine mindere Klarheit und wegen einer ungleichen Glasdicke eine geringere Deutlichkeit zu erhalten. Letzteres tritt beſonders leicht ein, wenn das Glas aus einer Glaskugel geſchnitten iſt, wie es häufig zu geſchehen pflegt; ebene Glasplatten, z. B. aus dünnen Spiegeln geſchnittene, ſind dieſem Fehler ſeltener unterworfen. Bei ſehr ſtarken Vergrößerungen iſt es unerläßlich, das Object unmittelbar auf ein Glas zu legen, weil die Dicke eines Glasdeckels oft nicht mehr erlaubt, den Gegenſtand der Objectivlinſe hinreichend zu nähern. Dieſes iſt beſonders bei den aplanatiſchen Mikroſkopen der Fall. — Beim Einlegen des Objectes auf den Tiſch des Mikroſkopes muß es in die Axe des Inſtrumentes geſtellt werden. Bei ſchwachen Vergrößerungen, wo das Geſichtsfeld hinreichend groß iſt, hat dieſes nie eine Schwierigkeit, bei ſtarken Vergrößerungen hingegen wird einiger Tact erfordert, ja es iſt manchmal ſogar nothwendig, zuerſt ein ſchwaches Objectiv aufzuſchrauben und das Object für dieſes in die Axe zu ſtellen, hierauf erſteres durch das ſchärfere zu erſetzen, in deſſen Axe ſich dann der Gegenſtand ebenfalls befinden wird, wenn man ihn während des Wechſelns nicht verrückt hat. Ein mit Rectificirungsſchrauben verſehener Tiſch leiſtet hierbei beſonders gute Dienſte, weil man damit Objecte in jeder Richtung ſanft und leicht bewegen kann. — Beim Einſtellen des Mikroſkops ſoll man ſachte verfahren und beſonders bei ſtarken Vergrößerungen wohl darauf ſehen, daß man den Objectträger nicht an die Objectivlinſe andrücke

und beſchädige. Je ſtärker die Vergrößerung iſt, deren man ſich bedient, deſto ſanfter muß die letzte Bewegung vorgenommen werden, wenn man nicht die Grenze der größten Deutlichkeit überſehen will. Da bringt ſchon die kleinſte Abweichung von der rechten Stellung einen großen Unterſchied in der Deutlichkeit hervor. Auch iſt es unumgänglich nothwendig, daß ſich jeder Beobachter das Object ſeinem Auge gemäß einſtelle, denn die kleinſte Differenz in der Sehweite wird bei ſcharfen Linſen ſchon ſehr merklich. Auch iſt klar, daß man da nur jene Stellen des Objectes deutlich ſehen kann, welche gleiche Entfernung vom Objectiv haben. Will man das Object weiter rücken, um eine andere Stelle deſſelben zu ſehen, ſo wird darum, falls dieſe eine andere Entfernung vom Glaſe hat, ein neues Einſtellen nothwendig werden. Beim Gebrauche flüſſiger Objecte muß darum auch der Tiſch eine horizontale Lage haben. — Ein weſentliches Erforderniß zum Gelingen mikroſkopiſcher Beobachtungen iſt die gehörige Beleuchtung des Objectes. Directes Sonnenlicht ſoll nie zur Beleuchtung gebraucht werden. Dieſes Licht beleidigt das Auge, ſtört die Klarheit des Sehens und bewirkt am Objecte durch die Erhitzung eine naturwidrige Verzerrung. Eben ſo ſoll man das von dunkeln oder grellfarbigen Gegenſtänden reflectirte Licht meiden. Bei Tage gewährt das Licht weißer Wolken oder einer mäßig weißen, nicht direct von der Sonne beſchienenen Mauer die beſte Beleuchtung. Nachts leiſtet eine Wachskerze, eine Lampe mit Banddocht und einer gläſernen Zugröhre oder eine argandiſche, mit einer matten Glaskugel bedeckte Lampe die beſten Dienſte. Stellt man ein Mikroſkop in die Nähe eines Fenſters, ſo ſind oft die dunkelen Fenſterkreuze der gehörigen Beleuchtung ſtark im Wege. Auf das Ocular ſoll kein grelles Licht fallen, ſonſt iſt es nöthig, einen Schirm daſelbſt anzubringen. Einen ſolchen kann ſelbſt die Hand des Beobachters abgeben. — Bei der Beleuchtung von unten durch den Spiegel läßt ſich das Licht ſchon durch die rechte Stellung des Spiegels mäßigen und verſtärken, daſſelbe gilt auch bei der Beleuchtung mittelſt einer Linſe von oben. Es iſt ſehr weſentlich, daß man dem Beleuchtungsapparate die gehörige Stellung zu geben weiß, weil von dieſer die Nettigkeit und Reinheit des Bildes ſo ſehr abhängt. Manche Gegenſtände, z. B. die Theilſtriche eines Glasmikrometers, ſieht man bei nur etwas ſtarker Beleuchtung gar nicht, andere nur unvollkommen, wieder andere fordern hingegen ein ſtarkes Licht. Bei der Anwendung der oberen Beleuchtung darf kein Licht vom Spiegel auf das Object fallen. Man erreicht dieſes, wenn man den Spiegel ſo ſtellt, daß ſeine Are in die des Rohres fällt. — Wer einen Gegenſtand durch mikroſkopiſche Betrachtung deſſelben näher kennen lernen will, beſehe denſelben zuerſt mit kleinen Vergrößerungen, um davon größere Partien überſehen zu können, und ſchreite erſt ſtufenweiſe zu den ſtärkſten Vergrößerungen fort, die er verträgt. Man gebe während der Betrachtung bei derſelben Vergrößerung dem Beleuchtungsapparate verſchiedene Neigungen gegen die Are des Rohres, um ſo bei mehreren Abſtufungen der Beleuchtung Beobachtungen anzuſtellen, wehre durch die Hand oder durch einen Schirm alles Licht ab, welches ſeitwärts unabhängig vom Beleuchtungsapparate auf das Object fällt, und vergeſſe nicht jeden Gegenſtand, der eine untere Beleuchtung geſtattet, auch einmal von oben zu beleuchten, und das untere Licht zu unterdrücken. Man lernt den Charakter eines Objectes nie vollſtändig kennen, wenn man es nur im durchgelaſſenen oder nur im reflectirten Lichte ſieht. — Die beſte Anleitung über den Gebrauch des Mikroſkops, insbeſondere für Pflanzen-Anatomie hat Schacht

Digitized by Google

(a. a. O.) geliefert, auf die wir deshalb jeden verweisen, welcher mit den Mikroskopen recht vertraut werden will.

In vielen Fällen wünscht man die Größe eines mikroskopischen Objectes zu ermitteln. Dies kann auf zweifache Weise geschehen, nämlich mittelst eines Glasmikrometers oder mittelst eines Schraubenmikrometers. — Im ersteren Falle legt man das Mikrometer, welches eine feine Eintheilung enthält, so daß die Länge einer Linie aus 10 oder 100 gleichen Theilen besteht, auf den Tisch des Instrumentes mit der Fläche, auf welcher die Scala verzeichnet ist, nach dem Objective hingewendet, legt das zu messende Object darauf und sieht, wie viele Felder, Bruchtheile eines Feldes mit eingerechnet, von demselben bedeckt werden. Kennt man die Größe eines Feldes, so ist dadurch und durch die vorhergehende Beobachtung auch die des Objectes leicht gefunden. Doch darf man nicht vergessen, daß solche Messungen nur bei mäßigen Vergrößerungen vorgenommen werden können, da bei starken die Differenz im Abstande des Objectes und des Mikrometers vom Objective zu groß ist, als daß man beide zugleich scharf sehen könnte.

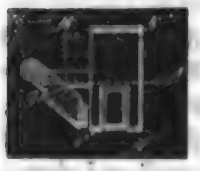
Die Messung mittelst eines Schraubenmikrometers wird am anschaulichsten durch die Beschreibung eines bestimmten Apparates, worauf wir um so mehr eingehen müssen, als im Art. Mikrometer auf den vorliegenden Artikel hingewiesen ist. Es besteht ein solches Schraubenmikrometer aus einer metallenen Scheibe A B C D (s. beistehende Figur), welche auf den Tisch des Mikroskops fest aufgeschraubt wird; auf der Scheibe ist ein Schlitten E F G H, welcher durch die Mikrometerschraube K L verschoben werden kann, und der große Schraubenkopf L ist an seinem Umfange in 100 gleiche Theile getheilt, von denen man gewöhnlich durch einen Nonius noch $^1/_{10}$ genau messen kann. Die Bewegung des Schlittens beträgt mithin für ein Hundertstel des Schraubenkopfes, wenn 100 Umdrehungen der Schraube auf 1 Par. Zoll gehen, 0,0001 Par. Zoll. Vorausgesetzt ist nun, daß das Ocular des Mikroskops ein Fadenkreuz enthält. Bringt man das zu messende Object auf die Oeffnung des Schlittens, der jetzt als Objectträger dient, stellt das Instrument so ein, daß das Bild im Gesichtsfelde deutlich erscheint und das Object einen Faden des Fadenkreuzes berührt, welcher senkrecht zur Bewegung des Schlittens gestellt ist, so verschiebt man mittelst der Mikrometerschraube das Object, bis der entgegengesetzte Rand desselben wieder den Faden berührt. Der Werth der Verschiebung wird an der Theilung des Mikrometerkopfes abgelesen, und giebt die gemessene Dimension. — An einem Fraunhofer'schen Mikroskope, welches das Wiener Museum besitzt, beträgt die Weite eines Schraubenganges 0,00142 Wiener Linien, an einem großen Schiek'schen Instrumente, welches mir zu Diensten steht, 0,001 Par. Linien.

Für große Bewegungen, die mehrere Schraubengänge umfassen, bringt man zweckmäßig noch eine Längenscala an, welche die Schraubenumgänge zählt. Soll die Messung richtig sein, so muß man den Rand des Objects in genaueste Berührung mit dem Faden setzen, die zu bestimmende Dimension muß genau auf diesem Faden senkrecht stehen und in einer auf der Axe des Instrumentes senkrechten Ebene liegen. Die erste Berührung stellt man mit der Mikrometerschraube

ſelbſt her. Ob das Object ſchon in der rechten Lage ſich befindet, erkennt man leicht, wenn man es zugleich nahe an den zweiten Faden des rechtwinkeligen Fadenkreuzes bringt und darauf achtet, ob es beim Fortſchieben mittelſt der Mikrometerſchraube immer gleichweit von demſelben bleibt; auch braucht man nur eine Stelle des Objectes zu beobachten, welche auf dem Faden liegt, in deſſen Richtung die Bewegung des Schlittens erfolgen ſoll, weil dieſe bei richtiger Einſtellung immer auf dieſem Faden bleiben muß. Es iſt zweckmäßig, die Meſſung mehrmals und mit verſchiedenen Stellen zu wiederholen, um Ungenauigkeiten, welche die Schraube haben könnte, zu compenſiren, indem man das Mittel aus allen Meſſungen nimmt.

Um ſolche Objecte zu meſſen, die im Mikroſkope an den Grenze ſeiner optiſchen Kraft eben noch getrennt erſcheinen, hat Harting *) eine Methode vorgeſchlagen. Das Weſentliche beſteht darin, daß er Gegenſtände von noch meßbaren Dimenſionen verkleinert und dieſe unter das Mikroſkop bringt. Die Robert'ſchen Prüfungsſcheiben verdienen in ſolchen Fällen aber jedenfalls den Vorzug.

Die Prüfung eines Mikroſkops bezieht ſich auf die Unterſuchung der Klarheit und auf die Stärke der vergrößernden Kraft. Die letztere zu beſtimmen, kann man ſich einer Camera lucida (ſ. d. Art. Bd. I. S. 929) bedienen, welche in einem einfachen parallelen Glaſe PP′ (ſ. beiſtehende Figur) beſteht. Dieſer Apparat wird an das Ocular mittelſt des Ringes NN′ angebracht;



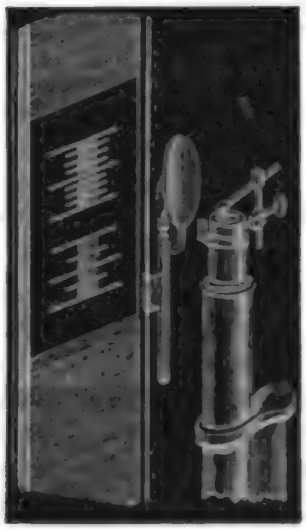
man bringt das Auge nach H und betrachtet durch das Glas PP′ in einer beſtimmten Entfernung einen ſehr genau getheilten Maßſtab. Während man die Theilſtriche des Maßſtabes beobachtet, erblickt man auch durch Reflexion auf der erſten Oberfläche des Glaſes PP′ das Bild des Gegenſtandes, welcher unter das Mikroſkop gebracht worden. Iſt nun der Gegenſtand ſelbſt genau getheilt, iſt er z. B. ein kleiner Glasſtreifen (Mikrometer), auf welchen mittelſt eines Diamants Fünftel, Zehntel oder Hundertel des Millimeters eingeriſſen ſind, ſo ſieht man mit einem Blicke, ein wie großer Theil des Maßſtabes durch eine der Abtheilungen des Mikrometers eingenommen wird. Wenn z. B. $^1/_{10}$ Millimeter des Mikrometers 10 Millimeter des Maßſtabes einnehmen, ſo iſt die Vergrößerung 100 u. ſ. f. Es erfordert dieſe Methode indeſſen einige Uebung und gewährt ſelbſt in den Händen des genaueſten Beobachters keine volle Schärfe.

Zuverläſſiger iſt folgende Methode von v. Jacquin **). Man ſtelle das Mikroſkop auf eine Baſis, an deren Seite ſich ein verticales Brett mit einer Linienſcala erhebt, und zwar in einer ſolchen Entfernung vom Mikroſkope, die der deutlichen Sehweite vom Oculare aus gleich geſetzt werden kann, befeſtige dann über dem Oculare einen kleinen metallenen Planſpiegel, mit der in umſtehender Figur beſonders abgebildeten Vorrichtung, ſo daß ſeine ſpiegelnde Fläche um 45° gegen die Axe des Rohres geneigt und von der Wand, worauf die Scala ſich befindet, gerade abgewendet iſt. Hierauf lege man ein Glasmikrometer als Object

*) Silliman, Americ. Journ. [2] Vol. XVII. p. 146.

**) Wiener Zeitſchr. Bd. IV. S. 5.

ein, gebe ihm die rechte Entfernung vom Objective, um im Geſichtsfelde ein deutliches Bild zu erhalten, und ſuche den Spiegel ſo zu ſtellen, daß man dieſes Bild auf die Scala der verticalen Wand projicirt ſieht. Hier wird man leicht angeben können, wie viele Linien ein bekanntes Stück des Mikrometers deckt und wie groß daher die Vergrößerungszahl iſt. — Bei dieſer Operation wird erfordert, daß die Scala hinreichend deutlich gezeichnet und gehörig beleuchtet ſei. Es iſt ſehr gut, wenn die Zeichnung weiß auf ſchwarzem Grunde iſt und man die Unterſuchung Nachts anſtellt, wo man mittelſt einer Lampe leicht die rechte Beleuchtung trifft. Ferner müſſen die Theilſtriche des Mikrometers ſo liegen, daß ſie bei der Projection mit den Strichen der Scala parallel werden, und man muß dafür ſorgen, daß die Scala dem Oculare gerade gegenüber in derſelben Horizontalebene ſteht. Man ſoll dabei immer nur die Größe des Bildes in der Nähe der Axe der Röhre zum Vergleichungspunkte nehmen, nicht aber die des dem Rande nahen, weil da ein anderes Vergrößerungsverhältniß herrſchen kann, als in der Mitte des Geſichtsfeldes. Meſſungen, auf ſolche Weiſe vorgenommen, haben eine deſto größere Schärfe, je geringer die vergrößernde Wirkung des Mikroſkopes iſt, bei ſtarken Vergrößerungen erſcheinen theils die Theilſtriche des Mikrometers ſo dick, daß bei der Beſtimmung ihrer Lage ſtets eine kleine Unſicherheit zurückbleibt, theils iſt man gezwungen, Bruchtheile des Abſtandes zweier Theilſtriche zu ſchätzen, eine Arbeit, die faſt nie fehlerfrei abläuft, indem man wegen zu geringen Geſichtsfeldes ſelbſt bei ungemein fein getheilten Mikrometern kaum mehr als Ein Intervall auf einmal zu ſehen bekommt. Man kann dieſe Methode zwar durch alle Combinationen der Objective und Oculare eines zuſammengeſetzten Mikroſkops durchführen, wird aber bei den letzten ſtarken Vergrößerungen nur mit großer Mühe und nicht ohne Anſtrengung der Augen zum Ziele gelangen. Man kann ſich aber das Geſchäft bedeutend erleichtern, indem man ſo verfährt. Man ſuche nach der vorhergehenden Methode die Vergrößerungszahlen bei Anwendung jedes Ocularaufſatzes mit einem der ſchwächeren Objective. Hierauf lege man ein Mikrometer als Object ein, deſſen Scala ſchon bei der kleinſten Vergrößerung das ganze Geſichtsfeld ausfüllt. Steht einem kein ſolches Mikrometer zu Gebote, ſo lege man in das Diaphragma einen Schirm mit einer Oeffnung von ſo geringer Größe, daß ſie vom Bilde der Mikrometerſcala ganz eingenommen wird. Nun beobachte man mit allen Combinationen der Oculare und Objective die Anzahl der Intervalle des Mikrometers, die auf einmal überſehen werden. Da verhält ſich nun die Vergrößerungszahl m bei einer beſtimmten Verbindung eines Oculares mit einem Objective, zur Zahl m_1 bei einer anderen Verbindung, wie die Anzahl Intervalle n_1 des in letztem Falle auf einmal überſehenen Mikrometerſtückes zur Anzahl dieſer Intervalle n im erſten Falle, oder man hat:



$$m : m_1 = n_1 : n \text{ oder } m_1 = m \cdot \frac{n}{n_1}.$$

Da nun n und n_1 durch Beobachtung gegeben ſind, und m aus der Beſtimmung

mittelſt der vorhergehenden Methode bekannt iſt, ſo läßt ſich m_1 leicht berechnen. Dieſes Verfahren hat zuerſt Ettingshauſen *) empfohlen.

Zu allen dieſen Methoden braucht man Glasmikrometer, von deren richtigen Theilung man vor ihrer Anwendung überzeugt ſein muß. F. A. Nobert hat dieſe in größter Vollkommenheit angefertigt **) und auf Glas zehn verſchiedene Gruppen feiner Linien gezogen von

0,'''001000	0,'''000463
0,000857	0,000397
0,000735	0,000340
0,000630	0,000292
0,000540	0,000225

Entfernung der einzelnen Linien jeder Gruppe, die zugleich inſofern zur Prüfung der Mikroſkope dienen, als ein ſolches Inſtrument natürlich höher im Werthe ſteht, eine je feinere Gruppe es noch getrennt zeigt. Beſitzt man ein Mikroſkop mit einem Schraubenmikrometer, ſo kann man das Mikrometer leicht auf ſeine richtige Theilung unterſuchen, indem man daſſelbe als Object einſetzt und den Abſtand je zweier Theilſtriche mit Aufmerkſamkeit und wiederholt mißt. Auch kann man zum Ziele gelangen, wenn man die Oeffnung des Diaphragma eines Mikroſkops hinreichend verengt, das Mikrometer als Object einſetzt, und, indem man verſchiedene Theile deſſelben durch das Geſichtsfeld führt, beobachtet, ob immer gleich viele Längenſtücke des Mikrometers auf einmal geſehen werden.

Die Klarheit oder Helligkeit der Bilder läßt ſich bei einer gewöhnlichen Beleuchtung aus der Lichtfülle abnehmen, unter welcher der Gegenſtand erſcheint. Ein in dieſer Beziehung tadelloſes Inſtrument giebt ſelbſt bei Vergrößerungen, die auf 300 reichen, mittelſt einer einfachen Kerzenflamme oder bei gewöhnlichem Tageslichte ein hinreichend helles Bild, wenn dieſes überhaupt eine Beleuchtung von unten verträgt; Mikroſkope, welche directes Sonnenlicht fordern, oder das Licht einer unbedeckten argandiſchen Lampe ohne zu blenden vertragen, gehören nicht zu den ausgezeichneten. — Die Deutlichkeit eines Bildes wird aus der beſtimmten Begrenzung deſſelben und dem beſtimmten Hervortreten einzelner Theile erkannt. Wo dieſe Eigenſchaft in hohem Grade vorhanden iſt, wird man ein Object, welches das ganze Geſichtsfeld einnimmt, in allen Theilen deſſelben, ſelbſt am Rande deutlich ſehen, und ſchon bei mäßigen Vergrößerungen manches wahrnehmen, was bei einer geringeren Deutlichkeit kaum bei der größten wahrgenommen wird. Hat man einmal einen etwas delicaten Gegenſtand mit einem ſehr guten Mikroſkope angeſehen und ſich das Bild wohl eingeprägt, ſo wird man die Güte eines anderen Inſtrumentes am beſten mit demſelben Objecte beurtheilen können. Solche Objecte ſind: ein in Oel getödteter Floh, die Flügel der gemeinen Hausfliege oder der Gelſe, Haare vom Rücken einer Haus- oder Feldmaus, eines Maulwurfes, vom Bauche einer Fledermaus, Schuppen von einem Flügel des gemeinen weißen Schmetterlinges, des Papilio Menelaus, der Kleidermotte. Am zuverläſſigſten ſind indeſſen die oben angegebenen Nobert'ſchen Prüfungsſcheiben, indem bei den eben angegebenen Objecten doch kleine Differenzen vorkommen.

*) Wiener Zeitſchr. V. S. 316.
**) Pogg. Ann. Bd. LXVII. S. 173.

Schacht empfiehlt die Schuppen des Weibchens der Hipparchia Janira und die von Lepisma saccharina, als das beſte Prüfungsobject erklärt er aber die Navicula Hippocampos angulata. An den Robert'ſchen Prüfungsſcheiben hat er auszuſetzen, daß ein Exemplar nicht abſolut wie das andere ausfällt.

Dadurch, daß man das Licht ſchräg auf das Object fallen läßt, hat man in neuerer Zeit bei den Mikroſkopen bedeutende Vortheile erzielt. Wir heben dies nochmals hervor, und knüpfen daran noch die Bemerkung, daß man ſich vor dem Irrthum, in welchen der Laie nur zu leicht verfällt, bewahren muß, als ob man mit ſtarken Vergrößerungen in allen Fällen mehr ſehen könne, als mit ſchwachen. Dies iſt namentlich deshalb nicht der Fall, weil mit zunehmender Vergrößerung die Helligkeit abnimmt.

Wegen Unterſuchung der Linſen verweiſen wir auf Art. Linſenglas Bd. IV. S. 563 ff.

Was die Erfindung der Mikroſkope betrifft, ſo ſind die einfachen wahrſcheinlich ſchon ſo lange im Gebrauche geweſen, wie die Linſen überhaupt, deren man ſich zur Vergrößerung der Gegenſtände bedient, namentlich die großen Gläſer, die weitſichtige Perſonen zum Leſen gebrauchen. Die Gemmenſchneider des Alterthums müſſen ſich ſchon der Glaskugeln als Vergrößerungsmittel bedient haben. Es lag ſehr nahe, Linſen mit noch größerer Convexität zu brauchen, um kleinere Gegenſtände zu betrachten. Hiernach würden wir, bis auf Alexander de Sina, der 1313 zu Piſa ſtarb, zurückgehen können *). Indeſſen iſt der Name Mikroſkop wahrſcheinlich dieſen Linſen — nach Einigen von dem Italiener Demiſiano — erſt nach Erfindung der zuſammengeſetzten Mikroſkope gegeben worden, und das Wort Mikroſkop ſelbſt erſt nach Erfindung des Teleſkops in Gebrauch gekommen, indem dadurch der Gegenſatz zwiſchen dieſen beiden Inſtrumenten bezeichnet wird, den man allerdings ſchärfer durch Engioſkop hervorheben würde. Huyghens **) hält es für wahrſcheinlich, daß nicht allein die zuſammengeſetzten Mikroſkope, ſondern auch die einfachen erſt nach der Erfindung der Teleſkope in Gebrauch gekommen ſeien. Die einfachen ſeien bald nach den Fernröhren, die zuſammengeſetzten ungefähr zehn Jahre ſpäter erfunden worden, weil Hieronymus Sirturus ***) ein ſo wichtiges Inſtrument gewiß nicht mit Stillſchweigen übergangen haben würde, wenn er es ſchon damals gekannt hätte. Huyghens iſt geneigt, den Cornelius Drebbel für den Erfinder der zuſammengeſetzten Mikroſkope zu halten, weil Viele ihm erzählt hätten, daß Drebbel ſchon im Jahre 1621 ein Mikroſkop in London gehabt, und daß man ihn damals allgemein für den Verfertiger deſſelben angeſehen habe. Franziskus Fontana behaupte zwar, jene Erfindung ſchon 1618 gemacht zu haben ****), doch ſei das Zeugniß des Hieronymus Sirſalis, welches er anführt, nicht älter, als vom Jahre 1625. Indeſſen geht aus einem Briefe des holländiſchen Geſandten Borelius an Borellus *****) hervor, daß Drebbel das Mikroſkop ſelbſt erſt von dem öſterreichiſchen Erzherzoge Albert zum Ge-

*) Vergl. Art. Brillen. Bd. I. S. 912.
**) Opera reliqua. Amstelodami 1728. T. II. dioptr. p. 170.
***) Telescopium. Francof. 1618.
****) Novae coelestium terrestriumque rerum observationes. Neap. 1646.
*****) Borellus de vero telescopii inventore. Hagae-Comitum. 1655.

ſchenk erhalten hatte, und daß daſſelbe von Johannes Zacharides und deſſen Vater Zacharias Johannides (Zacharias Janſſen) in Middelburg angefertigt worden war. Fontana ſcheint das Mikroſkop mit zwei converen Linſen erfunden zu haben, was ihm auch von Niemandem ſtreitig gemacht worden iſt *). Im Jahre 1612 ſoll Galiläi ein Mikroſkop an den König von Polen, Sigismund, geſendet haben.

Die beſten Mikroſkope der neueren Zeit ſind nach Schacht (a. a. O. S. 11.) von Georges Oberhäuſer in Paris, von Amici in Florenz, von Robert in Greifswald, von Schiek in Berlin, von Bénèche und Waſſerlein ebendaſelbſt, von Wappenhaus gleichfalls in Berlin, von Plößl in Wien, von Merz und Söhne in München, von Kellner in Wetzlar und von Nachez in Paris verfertigt worden, wenigſtens kann derſelbe nur dieſe aus eigener Erfahrung empfehlen **).

b) Das katoptriſche Mikroſkop.

Die Erſcheinungen, welche Hohlſpiegel zeigen, ſtimmen mit denen überein, welche man bei Convergläſern beobachtet, nur daß das Bild bei beiden auf entgegengeſetzten Seiten liegt, alſo bei jenen hinter dem Spiegel, wenn es bei dieſen vor dem Glaſe ſich befindet, und umgekehrt. Man kann deshalb bei einem Mikroſkope die Objectivlinſe eben ſo durch einen Hohlſpiegel erſetzen, wie es Newton bei ſeinem Spiegelteleſkope that. Mikroſkope, bei welchen dies geſchehen iſt, nennt man katoptriſche Mikroſkope oder Spiegelmikroſkope ***).

Amici hat die ausgezeichnetſten derartigen Inſtrumente geliefert und umſtehende Fig. I. S. 1069 ſtellt ein ſolches vor. Das Lichtbündel, welches von dem Objecte kommt, fällt auf einen kleinen ebenen Spiegel von Metall m m', der das Licht auf den Hohlſpiegel M M' wirft, und von hier aus wird durch abermalige Zurückwerfung ein Bild in der Nähe des Oculars erzeugt, welches durch die Oculare beobachtet wird, wie ſie bei den dioptriſchen Mikroſkopen angewendet werden. Der Spiegel M M' iſt elliptiſch gekrümmt. Beſonders ausgezeichnet iſt die Vollkommenheit, mit welcher Amici die Spiegel herſtellt. Daß die Gegenſtände durch Spiegel und Lichter paſſend erleuchtet werden, bedarf kaum der Bemerkung ****).

*) Vergl. Geſchichte der Optik v. G. Wilde. Berlin 1838. Bd. I. S. 146 ff.

**) Eine Beſchreibung und Abbildung eines Amici'ſchen Mikroſkops findet ſich in Dingler's polyt. Journ. Bd. XXXII. Hft. 4, desgl., aber nicht ſo ausführlich, in Baumgartner's Journ. Bd. VI. S. 92; über ein kleines achromatiſches Mikroſkop deſſelben ſ. Pogg. Ann. Bd. LXIV. S. 476. Das Mikroſkop von Oberhäuſer iſt in großem Maßſtabe abgebildet bei Schacht a. a. O. Taf. I. nebſt Beſchreibung auf S. 196; ein Mikroſkop von Bénèche ebendaſelbſt, S. 197 und Taf. II. Ueber das aplanatiſche Mikroſkop von Merz ſ. Pogg. Ann. Bd. XVII. S. 54. Wegen verbeſſernder Vorſchläge von Barfuß vergl. Pogg. Ann. Bd. LXVIII. S. 88; namentlich will er die ſphäriſche Abweichung durch eine eigene, in beträchtlicher Entfernung vom Objective abſtehende Doppellinſe aus Kronglas heben.

***) Schweigger's Journ. Bd. LX. S. 179.

****) Amici hat (Ann. de Chim. et de Phys. T. XXII. p. 187.) an ſeinen Mikroſkopen eigene Vorrichtungen zum Nachzeichnen der beobachteten Gegenſtände angebracht, wozu er

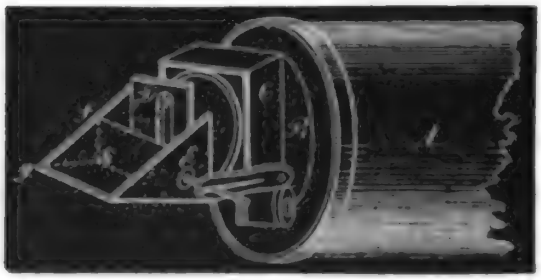
c) Das Sonnenmikroſkop und deſſen Abänderungen.

Stellt man einen Gegenſtand außerhalb der Brennweite einer Converlinſe auf, ſo erhält man hinter derſelben ein phyſiſches Bild, welches man auf einer Fläche auffangen kann. Je näher das Object dem Brennpunkte kommt, deſto weiter entfernt ſich der Ort des Bildes, dieſes wird aber zugleich größer, ſo daß man die Vergrößerung nach Belieben weit treiben kann. Da mit der Zunahme der Vergrößerung eine Lichtſchwächung verbunden iſt, ſo kommt es darauf an, das Object recht ſtark zu beleuchten, und hierzu bediente ſich zuerſt Lieberkühn 1738 des Sonnenlichtes, der mithin der Erfinder dieſes Mikroſkopes iſt, wenn auch bereits 1710 Balthaſaris in Erlangen die Theorie deſſelben entwickelt hatte.

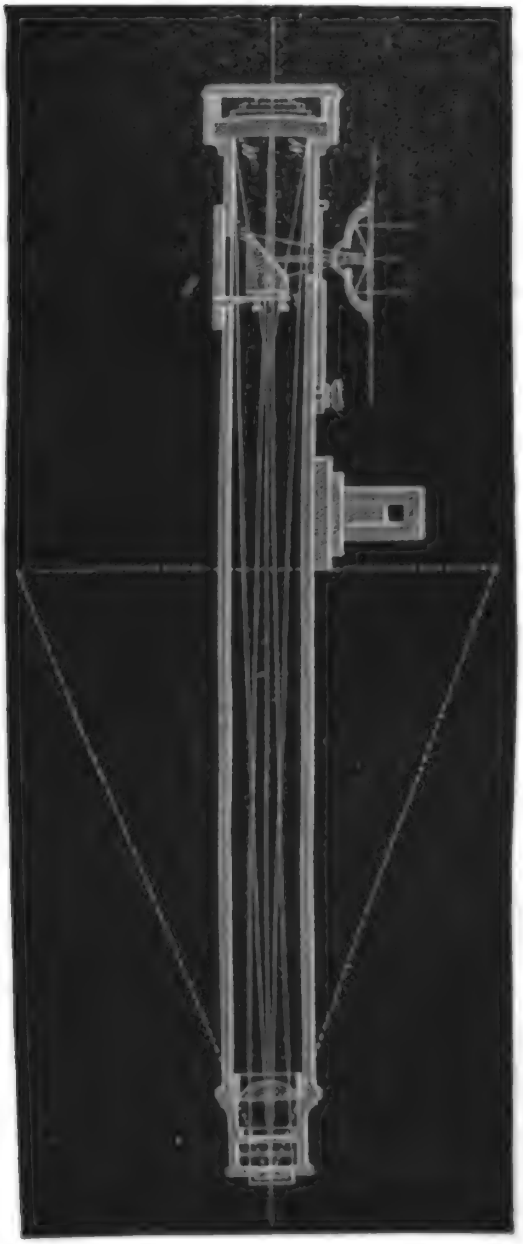
Eines der vollkommenſten Sonnenmikroſkope iſt in umſtehender Fig. II. abgebildet. Der Beleuchtungsapparat beſteht aus dem gläſernen Planſpiegel M, einer erſten beleuchtenden Linſe RJ von 15 oder 18 Linien Durchmeſſer und einer zweiten Linſe mit kurzer Brennweite SU, welche der Focus (Heerd) heißt. Der Spiegel M wirft das Sonnenlicht zurück, ſo daß in die Röhre T ein Lichtbündel parallel der Are derſelben gelangt. Durch die erſte und zweite Linſe wird das Lichtbündel immer ſtärker convergirend gemacht, ſo daß die Spitze des ganzen Lichtkegels nahe bei den in der Nähe des Brennpunktes von SU aufgeſtellten Gegenſtand fällt. Um dieſe Bedingung zu erfüllen, iſt es nöthig, daß der Focus beweglich ſei, und dies geſchieht mittelſt einer gezahnten Stange längs ſeiner Faſſung und eines Getriebes, deſſen Knopf ſich bei B außerhalb der Röhre befindet. Die Anbringung des Gegenſtandes, welcher durchſcheinend ſein muß, iſt von Wichtigkeit. Will man z. B. kleine Körper in Flüſſigkeiten beobachten, z. B. Blutkügelchen oder Thierchen verſchiedener Art und dergleichen, ſo breitet

---

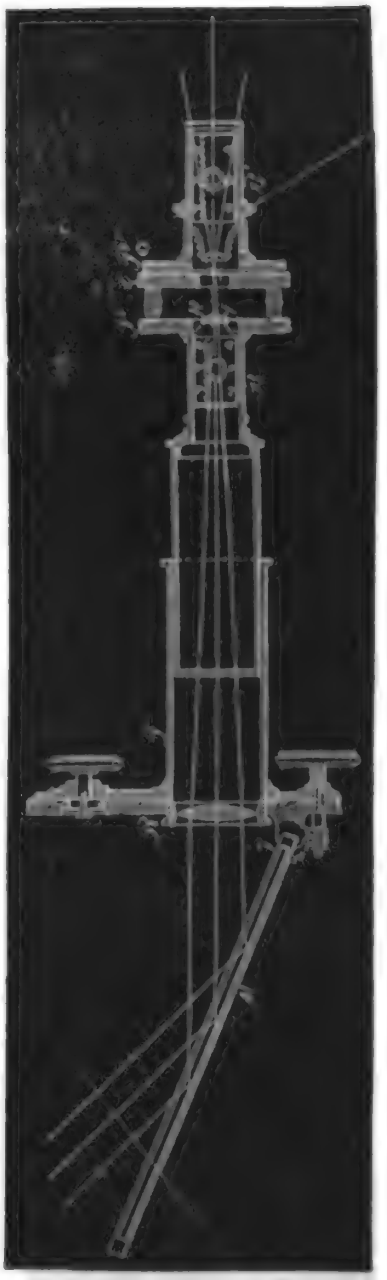
ſich der von ihm verbeſſerten Camera lucida bedient. (Vergl. Art. Camera lucida. Bd. I. S. 929.) Die neueſte Methode, welche er anwendet iſt folgende: Wenn in beiſtehender Fig. A die Röhre des Inſtrumentes, B das Ocular vorſtellt, ſo bezeichnet C ein daran geſchobenes Käſtchen; D einen aufrechten Planſpiegel von rectangulärer Form, der in der Mitte eine Spalte i (z. B. von weggenommener Belegung) etwas kleiner als die Oeffnung der Pupille hat; E die Faſſung eines vor dem Spiegel befindlichen, rechtwinkeligen, gleichſchenkeligen Glasprismas. Befindet ſich nun unterhalb deſſelben die Hand des Beobachters mit einem Zeichenſtifte, ſo dringen die Strahlen davon durch die untere Seite gh des Prismas ein, werden von ſeiner Hypothenuſe fg nach fh reflectirt, wo ſie heraustreten und in den Planſpiegel gelangen. Wenn alſo das Auge bei i ſteht, ſo wird es mit einem Theile ſeiner Sehöffnung durch die Spalte das Bild des vergrößerten Objectes, zugleich aber auch mit dem anderen durch den Planſpiegel das (aufrechte) Bild der Hand in das Bild projicirt ſehen, und daher jenes mittelſt des Zeichenſtiftes auf einem horizontalliegenden Papiere leicht entworfen werden können. — Am zweckmäßigſten dürfte es ſein, mit einem Mikroſkope ein Dicatopter von v. Hagenow in Verbindung zu bringen, was leicht ausführbar ſein möchte, wenn man mit dem Oculare ein rechtwinkeliges Prisma in Verbindung brächte, in welchem ſich das Bild ſpiegelte. Ob dies ſchon verſucht iſt, weiß ich nicht; doch ſcheint dieſer Anwendung des Dicatopters nichts im Wege zu ſtehen. H. C.



I.



II.

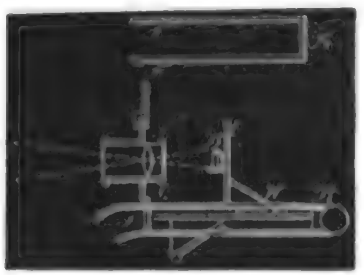


man einen Tropfen der Flüſſigkeit auf einen Glasſtreifen mit parallelen Wänden aus und bringt denſelben unter das Licht des Focus, indem man die Flüſſigkeit nach ihm hin wendet. In vielen anderen Fällen kann der Gegenſtand einfach zwiſchen zwei Glasſtreifen gebracht werden. Endlich kommen auch Fälle vor, wo man ihn in ein Gefäß mit parallelen Glaswänden einſchließen muß, das mit Flüſſigkeit gefüllt iſt, z. B. wenn man die Cirkulation des Blutes in dem Schwanze der Froſchlarve beobachten will und dergleichen. Alle dieſe Gegenſtände können bequem an das Mikroſkop gebracht werden mit Hülfe eines Mechanismus, der in

unſerer Figur bei PP' dargeſtellt iſt. P und P' ſind viereckige Streifen von Kupfer, die an den vier Ecken durch kleine Säulen von demſelben Metall verbunden ſind. Auf jeder der Säulchen befindet ſich eine Spiralfeder, welche die dritte Platte Q gegen die Platte P' drückt. Zwiſchen Q und P' werden die Glasſtreifen und dergleichen geſchoben, welche die Gegenſtände tragen. Dieſer Mechanismus muß ſich um die Röhre T drehen laſſen, damit man dem Object verſchiedene Stellungen geben kann, ohne ihn zu verrücken und ohne ſein Bild aus dem Auge zu verlieren. Um nun ein vergrößertes Bild des Gegenſtandes zu erhalten, wird die Linſe L die eigentliche Objectivlinſe mittelſt einer gezahnten Stange und eines Getriebes (deſſen Knopf bei B' ſich befindet) ſo lange dem Object genähert oder von ihm entfernt, bis ein Bild des Gegenſtandes mit größtmöglicher Schärfe und Klarheit auf einer weißen mit Leinwand oder Papier überzogenen Tafel 10, 15 bis 20 Fuß von dem Inſtrument abſtehend erſcheint. Das Zimmer, in dem die Tafel ſteht, muß natürlich dunkel ſein, während das Inſtrument in einer Wand deſſelben angebracht iſt. Den Grad der Vergrößerung kann man leicht mittelſt eines Objectmikrometers, das an die Stelle des Objects geſtellt worden, meſſen, wenn man ſeine Eintheilung kennt und beobachtet, wie viele Grade dieſer Eintheilung einen wie großen Raum im Bilde einnehmen. Bei den älteren Inſtrumenten erſcheint das Bild ſtets durch die Farben des Sonnenbildes verunreinigt, namentlich an den Rändern und dunkleren Partien. Dieſem Uebelſtande haben Vincent und Charles Chevalier dadurch abgeholfen, daß ſie bei ihren Mikroſkopen achromatiſche Linſen mit hinreichend kurzer Brennweite anwendeten, z. B. von 2, 3 oder 4 Linien. Will man ſtarke Vergrößerungen haben, ſo kann die Eine Linſe L durch 2 oder auch 3 Linſen erſetzt werden.

Wir bemerken noch, daß das Sonnenmikroſkop zu wiſſenſchaftlichen Unterſuchungen nicht brauchbar iſt und mehr zur Unterhaltung dient; auch möge die Bemerkung noch eine Stelle finden, daß daſſelbe eigentlich eine magiſche Laterne iſt, worüber der Art. Zauberlaterne zu vergleichen.

Da dies Mikroſkop ſich nur für kleine Gegenſtände eignet, ſo hat Charles um 1780 es dahin abzuändern geſucht, daß man auch größere Körper, z. B. eine ganze Spinne auf einmal überſehen konnte. Es iſt dies das ſogenannte Megaſkop (v. d. griech. *μέγας*, groß). Beiſtehende Figur ſtellt ein Megaſkop dar, welches aus einer einzigen Linſe LL' beſteht, vor welcher man den (undurchſichtigen) Gegenſtand B aufſtellt, deſſen Bild man haben will. Die Linſe LL' muß 28 bis 30 Linien Durchmeſſer haben, um ein hinlängliches Feld zu umfaſſen und dem Bilde hinreichende Helligkeit zu gewähren. Sie muß in einer etwas langen Röhre befeſtigt ſein, welche das Licht der Wolken und die Seitenreflexion abhält. Zu dem Ende kann auch in der Röhre ein Diaphragma angebracht ſein. Natürlich kann die Eine Linſe auch durch mehrere hinter einander ſtehende erſetzt werden.



Vor der Oeffnung, an welche man ſorgfältig die Faſſung der Linſe anpaßt, ſind in gleichem Niveau zwei horizontale Eiſenſtäbe befeſtigt, von denen FR den einen darſtellt, und deren Verbindung FRF' zeigt. Dieſe Stäbe tragen eine Art Wagen CH, welcher auf Walzen rollt und deſſen verticale Platte C zur Aufnahme der

Objecte beſtimmt iſt. Eine doppelte Schnur, deren Enden in die dunkle Kammer reichen (in welcher das Bild beobachtet wird), iſt an den Wagen befeſtigt und dient das Object B der Linſe zu nähern oder von ihr zu entfernen. Zwei oder mehrere ebene Glasſpiegel ſind äußerlich angebracht, um auf das Object das Licht der Sonne zu reflektiren und um in dem einen oder dem anderen Sinne Schatten zu werfen. In gewiſſen Fällen können die Spiegel auch an den Wagen befeſtigt ſein, um ſich mit ihm zu bewegen. Man bedient ſich dieſes Inſtrumentes auch, um vergrößerte (oder verkleinerte) Bilder von Zeichnungen, Gemälden, kleinen Bildwerken oder Basreliefs zu erhalten. Iſt die Tafel, auf welcher man das Bild auffängt, von Papier oder Muſſelin, wie beim Sonnenmikroſkop, ſo erblickt man vor demſelben ſtehend das Bild. Statt deſſen kann man das Bild auch auf einer Tafel mattgeſchliffenen Glaſes auffangen, hinter welcher ſtehend man es erblickt. Dann kann man die Bilder mit Leichtigkeit auf Strohpapier durchzeichnen.

Das Lampenmikroſkop von Adams 1771 unterſcheidet ſich von den zuletzt erwähnten Inſtrumenten eigentlich nur dadurch, daß bei ihm die Beleuchtung durch eine Lampe geſchieht. Es hat daher wiederum weſentlich zwei verſchiedenartige Theile, nämlich ſolche, welche zur Beleuchtung des Gegenſtandes dienen und ſolche, welche das vergrößerte Bild deſſelben geben. Die erſteren ſind eine argand'ſche Lampe, ein convexes Glas und ein Hohlſpiegel; die letzteren ſind eine kleine convexe Glaslinſe und zwei, mehrere Zoll breite, Convergläſer, die nahe beiſammen ſtehen und vereinigt als Ein convexes Glas wirken. In der beiſtehenden Figur iſt f die Stelle, wo die Lampenflamme ſich befindet. Sie iſt

im Brennpunkte des convexen Glaſes g g'; daher werden die aus f kommenden Strahlen parallel, und fallen auf den Hohlſpiegel, der ſo geneigt wird, daß ſie von ihm reflectirt auf dem Objecte a b vereinigt werden. Dieſes iſt nun ſtark erleuchtet, und da es kein Spiegel iſt, ſo fährt das darauf gefallene Licht von jedem Punkte, alſo auch von a und b in divergenten Strahlen zurück. Es fällt nun auf die Linſe l, außerhalb deren Brennweite das Object aufgeſtellt iſt, ſo daß man hinter l ein umgekehrtes und um ſo mehr vergrößertes Bild erhalten würde, je näher das Object an dem Brennpunkte der Objectivlinſe ſteht. Dies Bild wird durch zwei Sammelgläſer bei a'b' unterbrochen, von denen jedes eine Brennweite von etwa 15 bis 16 Zoll hat, und das hierdurch erzeugte phyſiſche Bild a''b'' betrachtet das Auge in o, woſelbſt zur Bequemlichkeit gewöhnlich auf einem Geſtelle ein Diaphragma angebracht wird, an deſſen Oeffnung ſich das Auge anlegt. Je kleiner die Brennweite der Objectivlinſe iſt, deſto größer erſcheint natürlich das Object.

In neuerer Zeit hat man ſich des Drummond'ſchen Kalklichtes *) als Lichtquelle ſtatt des Sonnenlichtes bei den Sonnenmikroſkopen bedient und das Inſtrument Hydro-Oxygengas-Mikroſkop genannt. In gleicher Weiſe hat man das Licht durch den elektriſchen Strom glühend gemachter Kohlenſpitzen

*) Vergl. Art. Flamme. Bd. III. S. 237.

benutzt *) und das ſo abgeänderte Sonnenmikroſkop photoelektriſches Mikroſkop genannt **). Nach den Verſuchen von Fizeau und Foucault iſt die Intenſität des elektriſchen Lichtes, wenn man das der Sonne als Einheit annimmt, gleich $^2/_5$ und das des Hydrooxygengaſes gleich $^1/_{140}$.

Schließlich verweiſen wir noch auf Art. Apparat Bd. I. S. 248, wo über die reſpectiven Preiſe verſchiedener Mikroſkope Auskunft zu finden iſt, und außerdem bemerken wir noch, daß man in neueſter Zeit auch binoculare Mikroſkope, d. h. Mikroſkope für beide Augen zugleich nach Art der Operngucker, in Vorſchlag gebracht hat, um ſtereoſkopiſche Bilder von mikroſkopiſchen Gegenſtänden zu erhalten. Weatſtone ***) erinnert, daß ſchon in einem Werke des Pater Cherubin von Orleans aus dem Jahre 1677 ein binoculares Mikroſkop ausführlich beſchrieben ſei, und giebt das Verfahren und die Einrichtung an, mittelſt deren man complementäre photographiſche Bilder mikroſkopiſcher Objecte für das binoculare Sehen darſtellen kann. H. E.

Milchſtraße, bei den Griechen ὁ γαλαξίας κύκλος ****), bei den Chineſen und Arabern Himmelsfluß, bei den Wilden Nordamerikas Weg der Seelen, bei den Bauern in Frankreich — nach dem Vorgange ſpaniſcher Mönche *****) — Weg des heiligen Jacob von Compoſtella genannt, heißt der lichte Streifen, welcher faſt in der Richtung eines größten Kreiſes über das Himmelsgewölbe hingeht.

A. v. Humboldt †) giebt eine Ueberſicht des Verlaufes und der Richtung der Milchſtraße nach der Folge der Rectaſcenſionen:

Durch γ und ε der Caſſiopeia hindurchgehend, ſendet die Milchſtraße ſüdlich einen Zweig nach ε des Perſeus, welcher ſich gegen die Plejaden und Hyaden verliert. Der Hauptſtrom, hier ſehr ſchwach, geht über die Böckchen im Fuhrmann, die Füße der Zwillinge, die Hörner des Stieres, das Sommer-Solſtitium der Ekliptik und die Keule des Orion nach $6^h\ 54'$ AR (für 1800), den Aequator an dem Halſe des Einhorns ſchneidend. Von hier an nimmt die Helligkeit beträchtlich zu. Am Hintertheile des Schiffes geht ein Zweig ſüdlich ab bis γ Argûs, wo derſelbe plötzlich abbricht. Der Hauptſtrom ſetzt fort bis 33° ſüdl. Decl., wo er, fächerförmig zertheilt (20° breit), ebenfalls abbricht, ſo daß in der Linie von γ und λ Argûs ſich eine weite Lücke in der Milchſtraße zeigt. In ähnlicher Ausbreitung beginnt letztere nachher wieder, verengt ſich aber an den Hinterfüßen des Centauren und vor dem Eintritte in das ſüdliche Kreuz, wo ſie ihren ſchmalſten Streifen von nur 3° oder 4° Breite bildet. Bald darauf dehnt ſich der Lichtweg wieder zu einer hellen und breiten Maſſe aus, die β des Centauren wie α und β

*) Vergl. Art. Galvanismus. Bd. III. S. 320.

**) Dingler's polyt. Journ. Bd. C. S. 101. Bullet. de la soc. d'enc. 1843. p. 393.

***) Silliman Americ. Journ. (2) T. XVII. p. 140. Quarterly Journ. of mikroscop. scien. T. IV. p. 99.

****) Manilius (Astronomicon lib. I.) theilt die Fabel des Alterthums von der Milch der Juno mit.

*****) Bode, Anleitung zur Kenntniß des geſtirnten Himmels. 9. Aufl. Berlin 1823. S. 148.

†) Kosmos. Bd. III. S. 185—187; vergl. auch John Herſchel in Outlines. p. 528—531.

des Kreuzes einſchließt und in deren Mitte der ſchwarze birnförmige Kohlenſack liegt. In dieſer merkwürdigen Region, etwas unterhalb des Kohlenſackes, iſt die Milchſtraße dem Südpole am nächſten. Bei α des Centauren tritt die Haupttheilung ein: eine Bifurcation, welche ſich nach den älteren Anſichten bis zu dem Sternbilde des Schwanes erhält. Zuerſt, von α des Centauren aus gerechnet, geht ein ſchmaler Zweig nördlich nach dem Wolfe hinwärts, wo er ſich verliert; dann zeigt ſich eine Theilung beim Winkelmaße (bei γ Normae). Der nördliche Zweig bildet unregelmäßige Formen bis in die Gegend des Fußes des Schlangenträgers, wo er ganz verſchwindet; der ſüdliche Zweig wird jetzt der Hauptſtrom, und geht durch den Altar und den Schwanz des Scorpions nach dem Bogen des Schützen, wo er in 276° Länge die Ekliptik durchſchneidet. Weiterhin erkennt man ihn aber in unterbrochener, fleckiger Geſtalt, fortlaufend durch den Adler, den Pfeil und den Fuchs bis zum Schwan. Hier beginnt eine ſehr unregelmäßige Gegend: wo zwiſchen ε, α und γ des Schwanes eine breite, dunkle Leere ſich zeigt, die Sir John Herſchel *) mit dem Kohlenſacke im ſüdlichen Kreuze vergleicht und die ein Centrum bildet, von welchem drei partielle Ströme ausgehen. Einer derſelben, von größerer Lichtſtärke, kann gleichſam rückwärts über β des Schwanes und ε des Adlers verfolgt werden, jedoch ohne ſich mit dem bereits oben erwähnten, bis zum Fuße des Schlangenträgers (Ophiuchos) gehenden, Zweige zu vereinigen. Ein beträchtlicher Anſatz der Milchſtraße dehnt ſich außerdem noch vom Kopfe des Cepheus, alſo in der Nähe der Caſſiopeia, von welcher Conſtellation an wir die Schilderung der Milchſtraße begonnen haben, nach dem Kleinen Bären und dem Nordpole hin aus.

Die Milchſtraße bleibt alſo etwa $^2/_3$ ihres Zuges ungetheilt, und während in der Gegend des Schlangenträgers ihre Zweige über 22 Grade Breite einnehmen, geht ſie an anderen Stellen nicht über 5 Grad Breite hinaus. Der größte Kreis, welchen dieſelbe ungefähr einnimmt, iſt gegen den Aequator unter 63° geneigt; die Pole derſelben liegen RA $12^h\,47'$, nördl. Decl. 27° und RA $0^h\,47'$, ſüdl. Decl. 27°; alſo in der Nähe des Haupthaares der Berenice und zwiſchen Phönix und Wallfiſch.

Die Milchſtraße hat ihre lichte Farbe von der Menge der in ihr ſtehenden Fixſterne, die wir wegen ihrer gewaltigen Entfernung von uns nicht als einzelnſtehende Punkte unterſcheiden können. Schon Demokrit **) hatte dies vermuthet, Manilius (a. a. O.) ſtimmte dem bei, entſchieden wurde dieſe Anſicht aber nach Erfindung der Fernröhre, denn Galilei ſchon erkannte zahlloſe Sterne, wo das unbewaffnete Auge von ihnen nichts erblickte ***). Kepler ****) hielt die Milchſtraße für einen Ring und ſetzte die Sonne in die Nähe deſſelben. Thomas Wright von Durham *****) nahm eine ſyſtematiſche Vertheilung

*) Outlines, p 531.

**) Plutarchi Placita philosophorum. T. III. Cap. 1.

***) Hierzu die beiden Himmelskarten aus Arago's populairer Aſtronomie.

****) Epitome Astronomiae Copernicanae; vergl. Apelt, Joh. Kepler's aſtron. Weltanſicht. Leipzig 1849. S. 23 und Struve's Etudes d'Astron. stellaire. Petersb. 1847. p. 4.

*****) Theory of the Universe. London 1750, ſ. Morgan in Philos. Magaz. Ser. III. No. 32. p. 241. v. Humboldt's Kosmos Bd. III. S. 187.

der Sterne um eine Fundamentalebene an. Kant *) adoptirt die Ansicht Wright's und setzt hinzu, daß sich unsere Sonnenwelt, wenigstens nahezu, in der Ebene der Milchstraße selbst befinde, in derselben aber eine excentrische Stelle einnehme. Lambert **) schließt sich dem an, indem er sagt, daß das ganze System der unsichtbaren Fixsterne nicht sphärisch, sondern flach sei; die Sterne seien nahezu gleichförmig vertheilt zwischen zwei Flächen, welche nach allen Richtungen hin ungeheure Ausdehnung besitzen und einander verhältnißmäßig sehr nahe liegen; unsere Sonne befinde sich in einer von dem Mittelpunkte jener unermeßlichen Sternenschicht nur wenig entfernten Gegend. W. Herschel ist es zuerst mit seinen Riesenteleskopen gelungen, die Milchstraße wenigstens in den meisten Theilen in einzelne dicht bei einander stehende Sterne aufzulösen; außerdem haben W. und J. Herschel nachgewiesen, daß die Fixsterne von der 5. und 6. Ordnung herab bis unter die 10. und 15. Größe an Dichtigkeit in der Zusammenstellung regelmäßig zunehmen, je nachdem man sich dem Kreise der Milchstraße nähert, so daß die Menge der Fixsterne mit der Annäherung an dieselbe wächst und in den Polen derselben gewissermaßen Stern-Armuth herrscht ***). In einem Abstande von 0°, 30°, 60°, 75° und 90° von dem nördlichen Pole der Milchstraße sind die Verhältnißzahlen der in einem Felde des Teleskops von 15 Minuten Durchmesser nach den angestellten Sternaichungen: 4,15; 6,52; 17,68; 30,30 und 122,00.

Hiernach ist es Herschel wahrscheinlich, daß die ganze große Anhäufung von Sternen eine linsenförmige Gestalt bildet, nahe in deren Mittelpunkte unser Sonnensystem sich befindet; denn wären die Sterne in einer Kugel gleichmäßig vertheilt, in deren Mittelpunkte wir ständen, so müßten sie gleichmäßig vertheilt erscheinen, und hätte unsere Sonne eine excentrische Stellung in solchem Falle, so würden die Sterne nach einer Seite hin dichter, nach der anderen weiter auseinander erscheinen. Blicken wir aber gegen die scharfe Kante der von Herschel angenommenen Linse, so erscheinen uns unzählige Sterne hinter einander, daher dicht zusammengedrängt, während nach der Mitte der beiden großen Seitenflächen dieser Linse, also nach den beiden Polen der Milchstraße zu, nur wenige weit auseinanderstehende Sterne sichtbar sind.

Wahrscheinlich bildet also die Milchstraße mit ihren unzählbaren Sternen einen Theil des ganzen Sternensystems, deren verschwindend kleiner Theil unser Sonnensystem ist. Einem Beobachter außerhalb dieses Sternensystems würde in weiter Entfernung dieses als ein Nebelfleck erscheinen, und so können wir muthmaßen, daß die Nebelflecke, welche wir am Himmel wahrnehmen, wiederum Milchstraßen oder andere, dem unseren ähnliche, Sternensysteme sind. Wie A. v. Humboldt sagt, kann sich hier die geistige Anschauung nur ahndungsvoll erheben. H. E.

Mineral (von dem franz. Wort minérai, Erz). Es hält sehr schwer, für dieses Wort eine scharf begrenzte Definition zu geben. Naumann bezeichnet

---

*) Gesammtausgabe von Kant's Werken. Leipzig 1838. Bd. VIII. S. 252; oder Kant's Naturgeschichte und Theorie des Himmels. 4. Aufl. Zeitz 1808. S. 9.

**) Kosmologische Briefe. Augsburg 1761. S. 128.

***) v. Humboldt's Kosmos. Bd. III. S. 176. Philos. Transact. for 1785. T. LXXV.

mit dem Worte Mineral einen jeden homogenen, ſtarren oder tropfbarflüſſigen, anorganiſchen Körper, welcher ein unmittelbares — ohne Mitwirkung organiſcher Proceſſe und ohne menſchliches Zuthun entſtandenes — Naturproduct iſt. Hiernach würden z. B. die Steinkohlen, Braunkohlen, der Bernſtein, Polirſchiefer ꝛc., die man gewöhnlich als zum Mineral gehörig anſieht, keine Mineralien ſein, da ſie aus der Zerſetzung und Umbildung vorweltlicher organiſcher Körper entſtanden ſind. Man ſucht ſich dadurch zu helfen, daß man die Ausdrücke Foſſil und Mineral für gleichbedeutend nimmt. Hiermit iſt aber wenig geholfen, denn unter Foſſilien begreift man alle Dinge, die aus der Erde gegraben werden und zur Maſſe derſelben gehören. Dieſer Begriff umfaßt mithin nicht die Mineralien allein, ſondern auch die Verſteinerungen. Man giebt alſo dem Begriff Mineral bald eine weitere, bald eine engere Bedeutung, und daher kann man darüber ſtreiten, ob dieſer oder jener Körper ein Mineral iſt oder nicht, wie dies bei der Auffindung des Strumit der Fall war.

Die Mineralien bilden die Beſtandtheile unſerer Erdrinde. Das Innere unſeres Planeten iſt uns zwar unbekannt, aber es läßt ſich doch mit großer Wahrſcheinlichkeit annehmen, daß ſich hier dieſelben Beſtandtheile vorfinden, wie in der äußeren Kruſte. Dadurch, daß die Mineralien ſich nicht durch ſich ſelbſt verändern, ſondern in dem bei ihrer erſten Bildung erhaltenen Zuſtande, der nur durch fremde phyſiſche oder chemiſche Einflüſſe verändert werden kann, verharren, unterſcheiden ſie ſich weſentlich von den organiſchen Körpern.

Die Wiſſenſchaft, welche ſich mit den Mineralien befaßt, nennt man die Mineralogie. Sie macht einen Theil der Naturbeſchreibung aus und hat es mit den individuellen unorganiſchen natürlichen Körpern zu thun, während die Botanik und Zoologie die individuellen organiſchen natürlichen Körper umfaſſen. Freilich muß auch hier der Begriff „Individuum“ etwas weiter gefaßt werden. Allerdings begreift das Mineralreich wahre Individuen in ſich. Es ſind dies die Kryſtalle, deren jeder ein in ſich abgeſchloſſenes ſelbſtſtändiges Ganzes bildet, das, ohne ſeine weſentliche Form zu verlieren, nicht getheilt werden kann. Freilich treten die Mineralien nur ſehr ſelten in einzelnen gut ausgebildeten Kryſtallen auf, vielmehr beſtehen erſtere meiſtens aus Maſſen, die durch eine Menge unvollkommen ausgebildeter Kryſtalle gebildet werden. Bei einem großen Theil der Mineralien iſt ſelbſt durch das Mikroſkop keine Spur einer kryſtalliniſchen Bildung zu erkennen; aber auch bei dieſen ſpricht ſich ein Streben nach Individualität darin aus, daß ſie, wenn ſie nach dem Schmelzen frei und ungehindert erſtarren, die Kugelform annehmen.

Die Mineralogie zerfällt in zwei Haupttheile oder Disciplinen: die Orykto-gnoſie und Geognoſie. Die erſtere (von ὀρυκτός, was gegraben wird) handelt von den einzelnen, ſo zu ſagen einfachen, d. h. ſichtlich nicht gemengten Mineralien. Der zweiten Disciplin iſt Bd. III. S. 508 ein eigener Artikel gewidmet. Die Petrefactenkunde, d. h. die Lehre von den Verſteinerungen, durch welche die Mineralogie mit der Zoologie und Botanik verbunden wird, haben wir als eine Hülfswiſſenſchaft der Geognoſie anzuſehen. — Werner führt außerdem noch als Theile der Mineralogie die mineraliſche Geographie, die Mineralchemie und ökonomiſche Mineralogie an. W. P.

Mineralwaſſer, künſtliche. Schon im Alterthum waren natürliche Heil-

quellen bekannt und zu einem hohen Anſehen gelangt *). Im Laufe der Zeit erweiterte ſich deren Zahl und Gebrauch immer mehr und bald wurden ſie der Tummelplatz des Luxus und ſonſtiger menſchlicher Thorheiten, ſo daß es dem, der nicht mit zeitlichen Gütern geſegnet war, immer mehr und mehr erſchwert wurde, ſeine zerrüttete Geſundheit durch den Genuß des heilkräftigen Waſſers an ſeinem Urſprungsorte wieder herzuſtellen. Schon frühzeitig tauchte daher der Gedanke auf, mit Hülfe der Wiſſenſchaft die Mineralwaſſer nachzuahmen. Gewöhnlich nimmt man an, daß Thurneiſſer zuerſt 1560 verſucht habe, dieſen Gedanken zur Ausführung zu bringen; aber zu ſeiner Zeit war die Kenntniß von der Zuſammenſetzung der natürlichen Heilquellen eine ſo dürftige, daß dieſer Verſuch der Nachbildung kaum der Erwähnung werth iſt. Zuvor hatte ſchon Paracelſus die Reihe derer eröffnet, welche der chemiſchen Unterſuchung der Mineralwaſſer eine größere Aufmerkſamkeit widmeten, aber nach ihm kam wieder eine ganze Schaar von Pfuſchern, als deren Oberhaupt gerade Thurneiſſer genannt wird **). Selbſt die ſpäteren Verſuche von Hoffmann (1685), Geoffroy (1724) und Anderen lieferten Reſultate, die kaum beſſer waren. Wie wenig Ausſicht die Wiſſenſchaft ſelbſt noch in der Mitte des vorigen Jahrhunderts eröffnete, den Wunſch und die Hoffnung, welche ſchon Baco von Verulam ausgeſprochen hatte, daß es den Fortſchritten der Chemie bald gelingen möge, alle Mineralwaſſer künſtlich nachzumachen, in Erfüllung gehen zu laſſen, dafür giebt uns Venel, Profeſſor der Chemie zu Montpellier, einen ſchlagenden Beweis. Er überreichte 1750 der Akademie der Wiſſenſchaften zwei Denkſchriften ***), in denen er nachwies, daß das Selterwaſſer und die übrigen bekannten Säuerlinge den prickelnden Geſchmack und das Aufſchäumen, eben ſo wie der Champagner, einer beträchtlichen Menge Luft verdankten, die darin aufgelöſt ſei; aber er weigerte ſich hartnäckig anzuerkennen, daß die Luftart in dieſen Waſſern verſchieden ſei von der atmoſphäriſchen Luft. Trotzdem aber war er doch der erſte, der den Weg einſchlug, auf welchem man, freilich erſt viel ſpäter, dahin gelangte, das Problem der Bereitung der Mineralwaſſer zu löſen. Er ſättigte zuerſt eine Salzlöſung mit Kohlenſäure dadurch, daß er Salzſäure in verſchloſſenen Gefäßen auf kohlenſaures Natron einwirken ließ.

Je mehr ſich die chemiſche Kenntniß der Mineralquellen erweiterte, häuften ſich auch die Verſuche, ſolche nachzuahmen. Die erſte mediciniſche Anwendung künſtlicher Mineralwaſſer hat der ſchwediſche Chemiker Bergmann gemacht. Er ſagt nämlich in ſeiner ausführlichen Abhandlung über die Luftſäure (Kohlenſäure) ****), die er 1774 an die königl. Akademie in Stockholm einreichte: „Mit Hülfe derſelben und indem man einige Salze genau in dem Verhältniß, wie es die Analyſe gelehrt hat, hinzufügt, kann man die Waſſer von Selters, Spaa und Pyrmont vollkommen nachahmen. Schon ſeit acht Jahren mache ich von dieſen künſtlichen Mineralwaſſern Gebrauch und habe ich davon die glücklichſten Wirkungen geſehen.“ Hiernach iſt die Angabe unrichtig, daß Prieſtley zuerſt 1772

*) Plinius, hist. nat. T. XXXI. p. 2.

**) Kopp, Geſchichte der Chemie. Bd. II. S. 54.

***) Mémoires présentés à l'Académie des sciences de Paris par divers savants étrangers. Vol. II. p. 53. 80 et 337.

****) Opuscula physica et chemica. Lipsiae 1788. Vol. I.

Waſſer direct mit Kohlenſäure imprägnirt habe. Bereits 1787 wurde durch Mayer in Stettin Selterwaſſer im Großen bereitet. 1791 erſchien in Berlin eine kleine Abhandlung: „Anweiſung auf eine wohlfeile Art künſtliche Mineralwaſſer nachzumachen", in der die Vorſchriften zu Selter-, Spaa-, Pyrmonter und Egerwaſſer gegeben ſind.

Von größerer Bedeutung war die Anſtalt zur Fabrikation künſtlicher Mineralwaſſer, die Paul 1799 in Paris eröffnete. Schon 10 Jahre früher hatte Paul dies Geſchäft in Genf fabrikmäßig betrieben und hier oft jährlich 40000 Flaſchen Selterwaſſer abgeſetzt. In Paris machte der neue Induſtriezweig großes Aufſehen, ſo daß 1799 das Inſtitut eine Commiſſion zur Beſichtigung der Werkſtätte abſchickte. Man wurde ſehr überraſcht durch die Einfachheit und Anordnung der Apparate, durch die ſinnreichen Mittel, wie das Waſſer herbeigeführt und filtrirt wurde, und durch die Vollkommenheit der Maſchinerie für die Gasentbindung und für Compreſſion der Gaſe, die hier bereits mittelſt Pumpen bewerkſtelligt wurde. Die Commiſſion konnte nicht umhin dem Inſtitut vorzuſchlagen: ſeine Billigung dem Bürger Paul auf die ausgezeichnetſte Art zu erkennen zu geben. Bald verbreiteten ſich mehrere größere Anlagen über Frankreich; ähnliche wurden am Ende des vorigen Jahrhunderts durch Schweppe in London und durch Ziegler in Winterthur errichtet. In Deutſchland eröffnete Fries 1803 eine ſolche bei Regensburg. Die Fabrikation beſchränkte ſich jedoch nur auf Selter-, Spaa-, Bitter- und Schwefelwaſſer.

Die Concurrenz, welche hierdurch den natürlichen Heilquellen gemacht wurde, veranlaßte dieſe auch ihrerſeits zu neuen Anſtrengungen, um ſich die reichliche Einnahmequelle zu erhalten. Man fing an, das Waſſer der verſchiedenen Heilquellen in Flaſchen oder Steinkrügen zu verſenden, um dadurch auch den weniger bemittelten Kranken den Gebrauch der heilkräftigen Waſſer zu ermöglichen. Es liegt jedoch in der Natur der Sache, daß dieſes Mittel nicht geeignet war, dem Bedürfniß ganz abzuhelfen. Man konnte, der Koſten wegen, nur ſolche Waſſer verſchicken, die getrunken wurden, und zwar nur kalte Quellen. Dazu erkannte man ſehr bald, daß ſelbſt auch dieſe, namentlich die gasreichen und eiſenhaltigen, ſich in kurzer Zeit veränderten und dadurch viel von ihrer urſprünglichen Heilkraft verloren oder ſogar weſentlich verſchieden wirkten wie an der Quelle ſelbſt. Die Urſache dieſer Veränderung iſt eine doppelte: das allmälige Entweichen der gasförmigen Beſtandtheile und die Oxydation des Eiſens, da ſich eine Beimengung von atmoſphäriſcher Luft beim Füllen an der Quelle nicht gut vermeiden läßt. Das Eiſenoxydul geht in Oxyd über und ſchlägt ſich nieder. Je wärmer nun ein Mineralwaſſer iſt, um ſo leichter zerſetzt es ſich, daher mußte man von der Verſendung der warmen Quellen, ſo oft man ſie auch verſucht hat, immer wieder abſtehen. Iſt einmal die Veränderung eingetreten, ſo läßt ſie ſich nicht wieder beſeitigen.

Dieſe Thatſachen waren es, die Struve in Dresden auf den Gedanken brachten, durch künſtliche Darſtellung der Mineralwaſſer und durch Einrichtung von Anſtalten, in denen dieſelben, ſelbſt einſchließlich ihres Temperaturverhältniſſes, bis zu dem Augenblicke des Verbrauches völlig naturgetreu und unzerſetzt erhalten würden, jenen Uebelſtänden vorzubeugen und überhaupt alle Heilquellen den Hülfebedürftigen auf dieſem Wege auch ohne Badereiſe zugänglich zu machen. Struve, Apotheker in Dresden, litt nämlich ſeit 1808 an einer langwierigen

Lähmung, die er ſich dadurch zugezogen hatte, daß ihm bei der Darſtellung der Blauſäure die Phiole platzte. In Folge ſeiner Krankheit war er genöthigt, die bekannten böhmiſchen Bäder zu beſuchen. In Marienbad war es, wo zuerſt der Gedanke an die künſtliche Nachbildung der Mineralwaſſer in ihm auftauchte. Und als er ſelbſt die oben angeführten Uebelſtände der in die Ferne verſendeten Mineralwaſſer beim Gebrauch des Eger Franzensbrunnen an ſich erprobt hatte, ging er mit friſchem Muth an die Ausführung ſeiner Idee.

Wenn ſchon Andere hierin vorangegangen waren, ſo war Struve's Unternehmen dennoch für den damaligen Zuſtand der Wiſſenſchaft ein ſehr gewagtes. Eine lange Reihe von Jahren waren erforderlich, um die nöthigen Vorbereitungen zu treffen. Freilich wurde er hierbei unterſtützt durch die großen Fortſchritte, welche gerade in jener Zeit die quantitative Analyſe machte; aber dennoch war von ſeiner Seite eine unermüdliche Ausdauer erforderlich, bevor er ſeine Idee wirklich zur Ausführung bringen konnte. Vor allem kam es darauf an, der Natur das Geheimniß abzulauſchen. Vor länger als tauſend Jahren ſchon hatte Ariſtoteles den Satz: „aqua talis, qualis terra, per quam fluit", aufgeſtellt; ferner hatten Berzelius und Biſchof ſchon dargethan, daß die Beſtandtheile der warmen natronhaltigen Quellen in Frankreich und Böhmen in einem urſächlichen Verhältniß zu den früher in jenen Gegenden wirkſam geweſenen Vulkanen ſtänden. Aber erſt Struve zeigte uns, auf Verſuche geſtützt, daß die Erzeugung der Mineralquellen in der Natur nur ein einfacher Auflöſungsproceß ſei. Die Nähe mehrerer in ihren Beſtandtheilen ſehr verſchiedener böhmiſcher Mineralquellen, der von Bilin, Teplitz und der Bitterwaſſer von Saidſchütz Püllna gaben Struve Veranlaſſung zur näheren Unterſuchung des Vorganges bei Erzeugung dieſer Quellen. Als ſicherer Anhaltepunkt dienten hierbei die Analyſen der Quellen und der in ihrer Nähe vorkommenden Geſteine. Es gelang ihm, wenn er durch Klingſtein aus dem böhmiſchen Mittelgebirge kohlenſaures Waſſer unter ſtarkem Druck hindurchſickern ließ und noch freie Kohlenſäure hineinleitete, ein Waſſer zu erhalten, das er dem von Bilin, welches aus dieſem Geſtein kommt, ſeiner chemiſchen Zuſammenſetzung und ſeinen phyſikaliſchen Eigenſchaften nach an die Seite ſetzen konnte. Aehnliche Reſultate erhielt er mit dem Porphyr von Teplitz, aus welchem die bekannten Quellen heraufſteigen. Eben ſo hellte er die Entſtehung der Bitterwaſſer Schritt vor Schritt auf.

So war denn die Entſtehung der Mineralwaſſer auf einfache chemiſche Proceſſe zurückgeführt. Es kam nun noch darauf an, die techniſchen Schwierigkeiten zu überwinden, wobei Struve von Blochmann unterſtützt wurde. Nach länger denn 10jährigen Vorſtudien konnte endlich 1820 daran gedacht werden, die erſten Verſuche der Ausführung in einem kleinen Maßſtabe zu wagen. Sie fielen aber ſo günſtig aus, daß noch in demſelben Jahre der Trinkgarten in Dresden und faſt gleichzeitig in Leipzig eröffnet wurde. Gemeinſchaftlich mit Soltmann wurde 1823 die Trinkanſtalt in Berlin eingerichtet, 1825 die in Brighton. Jetzt beläuft ſich deren Zahl bereits auf 14 (Cöln, Petersburg, Moskau, Warſchau, Kiew, Odeſſa, Riga, Königsberg, Breslau, Hannover).

Während auf der einen Seite die geachtetſten Aerzte den künſtlichen Mineralwaſſern das Zeugniß gaben, daß ſie den natürlichen in keiner Beziehung nachſtänden, erhob ſich von der anderen Seite der heftigſte Widerſpruch und man proclamirte hier laut: „Die Kunſt habe kein Recht, ſich in dieſem Bezuge mit der Natur zu

meſſen.“ Selbſt die Regierungen, indem ſie für den Flor ihrer Länder fürchteten, nahmen an dieſem Kampfe Theil, in welchem ſich eine poetiſch phantaſtiſche Naturanſchauung, die der Wahrheit gewaltſam ihre Augen verſchloß, ſehr breit machte. Man hatte keinen Gefallen an der Wirkung einfacher Naturgeſetze; etwas Myſtik, geheimnißvolle, unbegreiflich Vorgänge im Innern der Erde, an der Bereitungsſtätte der Mineralquellen, waren willkommener. Man begabte daher die Heilquellen mit allerlei unſichtbaren Stoffen und geheimnißvollen Kräften; man belegte ſie mit allerlei wunderlichen Eigenſchaften. So war es z. B. ausgemacht, daß die warmen Quellen eine andere Art von Wärme beſäßen, als die, welche wir zu erzeugen im Stande ſind. Dieſe Quellen ſollten nämlich langſamer erkalten, als ein künſtlich durch Zuſatz von Salzen bereitetes, bis auf denſelben Grad erwärmtes Mineralwaſſer; ja das natürliche ſelbſt ſollte die wunderbare Eigenſchaft verlieren, ſobald es einmal erkaltet ſei. Man ſprach ſogar von einem Brunnengeiſt, der dem Waſſer ſeine Wirkſamkeit verleihe. Sollte doch ſogar das Waſſer der Heilquellen ein ganz anderes ſein. So behauptete z. B. Baumgartner, daß das Gasteiner Mineralwaſſer aus 3 Th. Waſſerſtoff und 1 Th. Sauerſtoff zuſammengeſetzt ſei, eine Behauptung, die noch 1838 von Heßler, Prof. der Phyſik zu Prag, und 1844 von Kiehne ausgeſprochen wurde. Es fehlte nur noch, daß man eine alte Badeordnung von 1797 wieder hervorholte, in der es wörtlich hieß: „Soll Niemand das heylſam Bad ein Waſſer nennen bei Straff 24 Pfennig.“

Struve hat das Verdienſt, den magiſchen Schleier, in welchen man ſelbſt heute noch zuweilen die Heilquellen und die Urſache ihrer Wirkſamkeit hüllt, zerriſſen zu haben. Mit Hülfe der fortſchreitenden Wiſſenſchaft gelang es, die Truggeſtalten zu verſcheuchen, ſo daß heute dieſer Streit nur noch ein hiſtoriſches Intereſſe beſitzt. Die Erfahrung hat längſt über den Werth von Struve's Nachbildung der Mineralwaſſer entſchieden. So wie kein Zweifel über die Identität in chemiſcher und phyſikaliſcher Beziehung zwiſchen den künſtlichen und natürlichen Mineralwäſſern beſteht, lehrt uns die Verbreitung, welche die Anwendung der künſtlichen Mineralwaſſer gefunden hat, daß man von Seiten der Aerzte in den mediciniſchen und therapeutiſchen Wirkungen keinen Unterſchied findet. Die Sorgfalt, mit der die Mineralquellen in neueſter Zeit erforſcht worden ſind, hat ſichere Anhaltepunkte gegeben für die Nachbildung einer großen Zahl von Mineralquellen. Die Berliner Trinkanſtalt veröffentlichte zu Anfang der diesjährigen Saiſon ein Verzeichniß folgender Mineralwaſſer, die ſtets friſch bereitet verabreicht werden:

Adelheidsquelle,
Carlsbader Neubrunnen,
" Mühlbrunnen,
Cudowaer,
Egerer Franzensbrunnen,
" Salzbrunnen,
Emſer Kränchen,
" Keſſelbrunnen,
Geilnauer,
Homburger Eliſaquelle,
Kiſſinger Ragozi,
Marienbader Kreuzbrunnen,
" Ferdinandsbrunnen,
Kreuznacher Eliſabethquelle,
Lippſpringer Arminiusquelle,
Pyrmonter Brunnen,
Krankenheiler Jod-Sodawaſſer (Johann Georgenquelle),
Schleſiſcher Oberſalzbrunnen,
Friedrichshaller Bitterwaſſer,
Püllnaer Bitterwaſſer,
Saidſchützerbrunnen,

Schlangenbad, Wildunger,
Spaaer Pouhon, Vichy (grande grille).
Selterſerwaſſer,

Nur in einem Punkte weichen die künſtlichen Mineralwaſſer von den natürlichen ab. Die Analyſen der natürlichen Heilquellen haben ergeben, daß in ihnen auch organiſche Stoffe auftreten. Dies ſind die Quellſäure, Quellſatzſäure und Humusſäure, die wir freilich auch darſtellen können. Aber außer dieſen treten noch Stoffe auf, die unter dem allgemeinen Namen von Extractivſtoffen und bituminöſen Stoffen zuſammengefaßt werden. Deren Natur iſt aber noch ſo unbekannt, daß von einer Nachbildung derſelben nicht die Rede ſein kann. Wie weit ihr Fehlen daher in den künſtlichen Mineralwaſſern ein Mangel iſt, wollen wir dahingeſtellt ſein laſſen.

Ein zweiter Punkt iſt der, daß in den künſtlichen Nachbildungen der Gehalt an freier Kohlenſäure oft ein größerer iſt, als in dem Waſſer der natürlichen Quellen. Dies hat aber abſichtliche Gründe, weil einmal von dem Publikum die Güte der künſtlichen Mineralwaſſer nach dem ſtärkeren oder ſchwächeren Mouſſiren taxirt wird, und dann iſt ein kleiner Ueberſchuß von Kohlenſäure auch nothwendig, weil die Korkſtöpſel nicht gleich vollkommen dicht ſchließen, ſelbſt wenn kein Waſſer hindurchdringt, und daher Gelegenheit geben, daß ein Theil der Kohlenſäure ſich verflüchtet. Bei den Waſſern, die nur eine mediciniſche Anwendung finden, iſt übrigens dieſer Ueberſchuß an Kohlenſäure nur ein höchſt geringer.

Bei alledem iſt nicht zu leugnen, daß die künſtlichen Mineralwaſſer entſchieden manche Vortheile darbieten. Die hauptſächlichſten ſind die, daß die Reiſe zur Quelle erſpart wird und man ſich ihrer an jedem Orte und zu jeder Zeit bedienen kann. Ueberdies iſt der Gebrauch minder koſtſpielig. Ferner gewähren ſie namentlich zu Anfang der Krankheit eine ſehr ſchnelle Hülfe. Sollte der Kranke den einen oder den anderen Beſtandtheil nicht ertragen können, ſo kann er fortgelaſſen oder im anderen Falle durch gewiſſe Beſtandtheile vermehrt werden. Ueberhaupt iſt es ſehr leicht, mit den verſchiedenen Mineralwaſſern zu wechſeln, wenn es nöthig ſein ſollte. Da bei der Bereitung die zuverläſſigſten Analyſen zu Grunde liegen, ſo beſitzen die künſtlichen Mineralwaſſer ſtets eine genau gleiche Zuſammenſetzung, was ſich von den natürlichen Heilwaſſern nicht immer ſagen läßt.

Die Bereitung der künſtlichen Mineralwaſſer iſt bis jetzt noch ein Geheimniß, das Struve ſeinem Sohne in einem Manuſcripte hinterlaſſen hat. Hieraus macht man den künſtlichen Nachbildungen einen ſchweren Vorwurf, weil man ſein Vertrauen ganz auf die Redlichkeit unbekannter Perſonen ſetzen müſſe. Doch kann man wohl annehmen, daß in den Struve'ſchen Anſtalten mit einer Genauigkeit und Gewiſſenhaftigkeit gearbeitet wird, die nichts zu wünſchen übrig läßt. Eben ſo, daß man hier den Fortſchritten der Wiſſenſchaft Rechnung trage und die neueſten Fortſchritte gewiſſenhaft berückſichtige. Aus dieſem Grunde kann man wohl die Struve'ſchen Mineralwaſſer als Erſatzmittel der natürlichen betrachten, die ihrem Urbilde, wenn auch nicht völlig gleich, ſo doch ſehr nahe ſtehen.

Die Darſtellung der künſtlichen Mineralwaſſer zerfällt der Hauptſache nach in vier Operationen: 1) die Darſtellung von abſolut reinem Waſſer, 2) die Löſung der Salze im Waſſer, 3) die Darſtellung der Kohlenſäure und 4) die Sättigung der Löſung mit der erforderlichen Menge von Kohlenſäure.

Reines Waſſer wird durch Deſtillation gewonnen und hierbei in der Regel, da der tägliche Bedarf ein ziemlich großer iſt, ſehr zweckmäßig der Keſſel der Dampfmaſchine benutzt. Um das deſtillirte Waſſer von einem jeden Geruch zu befreien, den es von den Metallgefäßen angenommen hat, filtrirt man es durch Holzkohlen.

Wie die Löſungen der Salze bewerkſtelligt werden, d. h. welche Verbindungen man hier anwendet und in welcher Reihenfolge ſie aufgelöſt werden, darüber kann wenig geſagt werden, denn dies iſt eben das ſorgfältig bewahrte Geheimniß. Im Allgemeinen iſt es hierbei unerläßlich, daß kein Beſtandtheil ausgeſchloſſen werden darf, der in dem natürlichen Waſſer als ſtätig vorhanden aufgefunden worden iſt, wie klein und unbedeutend er auch ſeiner Menge nach erſcheinen möge. Die größte Sorgfalt muß darauf verwendet werden, daß die Salze genau in denſelben Gewichtsverhältniſſen zugeſetzt werden, wie dieſe durch ſorgfältige Analyſen ermittelt worden ſind. Aus dieſem Grunde unterſuchte Struve ſelbſt diejenigen Waſſer, die er nachbilden wollte, ſoweit darüber keine genauen und zuverläſſigen Analyſen vorlagen, nach allen Seiten hin auf das Genaueſte, wobei er durch den jetzigen ruſſiſchen Staatsrath Hermann und den Chemiker Bauer unterſtützt wurde. Er wendete hierbei ein Verfahren an, das Aehnlichkeit mit dem hatte, welches Bunſen bei der Analyſe des Nauheimer Waſſers *) befolgte. Auf dieſe Art erhielt er ſichere Reſultate, nach denen er die einzelnen Salze dem Waſſer zuſetzte und nun ein Product gewann, das dem natürlichen Waſſer gleich war, nachdem er von Zeit zu Zeit die Analyſen wiederholt hatte, um durch Feſtſtellung beſtimmter Größen die zu verſchiedenen Zeiten an den natürlichen Waſſern beobachteten quantitativen Schwankungen der einzelnen Beſtandtheile auszugleichen. Bei dieſen Muſtervorſchriften glaubte aber Struve von allen ſolchen Beimiſchungen abſehen zu müſſen, die nur vorübergehend in größeren oder kleineren Zwiſchenräumen, immer aber in höchſt unbedeutenden Mengen in einzelnen Mineralwaſſern auftreten und ihrer Unbeſtändigkeit wegen auch niemals von dem Arzte in Anſchlag gebracht werden können. Dieſe Analyſen müſſen noch jetzt von Zeit zu Zeit wiederholt werden, da mit der weiteren Ausbildung der Unterſuchungsmethoden auch neue, weſentliche Beſtandtheile in den Mineralwaſſern entdeckt werden. So fand man z. B. erſt 1850 in den Aachener Quellen Brom und Kohlenwaſſerſtoff.

Diejenigen Salze, welche leicht auflöslich ſind (doppelt kohlenſaures Natron, Chlornatrium, ſchwefelſaures Natron, ſchwefelſaures Kali, ſchwefelſaure Magneſia, ſchwefelſaurer Kalk ꝛc.) bieten bei der Löſung keine Schwierigkeiten dar. Anders aber iſt es mit den Verbindungen, die im gewöhnlichen Waſſer unlöslich ſind: die einfach kohlenſauren Erden, ferner die Baryt- und Strontianverbindungen bei Gegenwart ſchwefelſaurer Salze, Kieſelſäure, Fluorverbindungen und phosphorſaure Erden. Aus dieſem Grunde iſt es nicht gleichgültig, in welcher Reihenfolge und Form die verſchiedenen Verbindungen dem Waſſer zugeſetzt werden, wenn man ein Product erzielen will, das dem natürlichen in Geſchmack und ſonſtigen Eigenſchaften vollkommen gleich ſei. Hierdurch und durch eine richtige Verwendung der Kohlenſäure werden unlösliche Abſcheidungen und die Löſung der ſchwerlöslichen Verbindungen bewerkſtelligt. Einige Verbindungen, wie z. B.

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XII. S. 156.

das kohlenſaure Eiſenoxydul und die Schwefelverbindungen, werden durch die Gegenwart des freien Sauerſtoffs verändert und ausgeſchieden. Es iſt daher nothwendig, daß ſowohl das Waſſer, wie auch die Kohlenſäure durchaus frei von atmoſphäriſcher Luft ſei. Nach Pictet*) ſoll die Luft aus dem Waſſer durch Sättigen deſſelben mit Kohlenſäure entfernt werden. Man läßt dann dieſe Kohlenſäure, bevor man neue einpumpt, entweichen.

Zur Entwickelung der Kohlenſäure dient in neuerer Zeit namentlich der Magneſit, weil man hier bei Anwendung von Schwefelſäure Bitterſalz als werthvolles Nebenproduct erhält. Sonſt nahm man in der Regel Marmor und Salzſäure oder Kreide und Schwefelſäure. Die Entwickelung der Kohlenſäure geht in großen bleiernen Cylindern vor ſich, und das Gas wird in große Behälter geleitet. Auf dem Wege zu letzteren hat das Gas einen Waſchapparat zu paſſiren, um von dem üblen Geruch, der dem Gaſe anhaftet, befreit zu werden. Entweder dient zu dieſer Waſchung luftfreies Waſſer, das in einem engen und tiefen Faß enthalten iſt, wobei die größere Vertheilung des Gaſes durch ein Sieb befördert wird, oder eine Löſung von doppelt kohlenſaurem Natron.

Kaltes Waſſer abſorbirt unter dem gewöhnlichen Luftdrucke ein ſeinem Volumen gleiches Volumen Kohlenſäure. Bei ſteigendem Druck, alſo bei zunehmender Dichtigkeit der Kohlenſäure, vermindert ſich aber die Abſorptionsfähigkeit des Waſſers. Bis zu einem Druck von 5 Atmoſphären iſt der Unterſchied nicht ſo ſehr bedeutend, wohl aber ſchon, wie Couerbe gezeigt hat, bei einem Druck von 7 Atmoſphären. Hier iſt die Menge der aufgenommenen Kohlenſäure, unter dem gewöhnlichen Luftdruck gedacht, nicht mehr gleich 7 Volumen des Waſſers, ſondern nur gleich fünf. Doch bis zu dieſem Punkte werden die künſtlichen Mineralwaſſer nicht mit Kohlenſäure geſättigt. Die, welche ausſchließlich zu mediciniſchen Zwecken verwendet werden, enthalten in der Regel eine Kohlenſäuremenge, die auf ein Volumen Waſſer noch nicht einem Volumen Kohlenſäure von zwei Atmoſphären Dichtigkeit entſpricht; nur die ſogenannten Luxuswaſſer, die als erfriſchende Getränke ſtark in Gebrauch ſind, werden unter einem Drucke von 4 bis 5 Atmoſphären mit Kohlenſäure geſättigt. Ein gewöhnliches Manometer reicht daher aus, um genau die Menge der Kohlenſäure anzugeben, die bei der Bereitung der Waſſer abſorbirt wird. Die hierbei vorkommenden Fehler ſind unbedeutend und fallen nicht ins Gewicht, weil auch in den natürlichen Waſſern, je nach den Jahreszeiten, Schwankungen im Kohlenſäuregehalt vorkommen.

Von Wichtigkeit ſind bei der Fabrikation der künſtlichen Mineralwaſſer die Apparate, mit deren Hülfe die Kohlenſäure dem Waſſer einverleibt wird. Im Laufe der Zeit ſind eine Menge dieſer Apparate in Vorſchlag gebracht und zu dieſen wieder Verbeſſerungen angegeben worden; ſo von Berzelius, Welter, Bramah, Briet, Bakewell, Chauſenot, Gahn, Savaruſſe, Soubeiran und Anderen**). Ein Haupterforderniß iſt, daß alle Theile des Apparates durchaus gegen das Eindringen von Luft geſchützt ſind. Die Schwängerung des Waſſers mit Kohlenſäure geſchieht auf zweifache Art. Entweder wird das Gas durch eine Zug- und Druckpumpe aus dem Gaſometer geſchöpft und dann

*) Gilbert's Ann. Bd. XXVIII. S. 414.

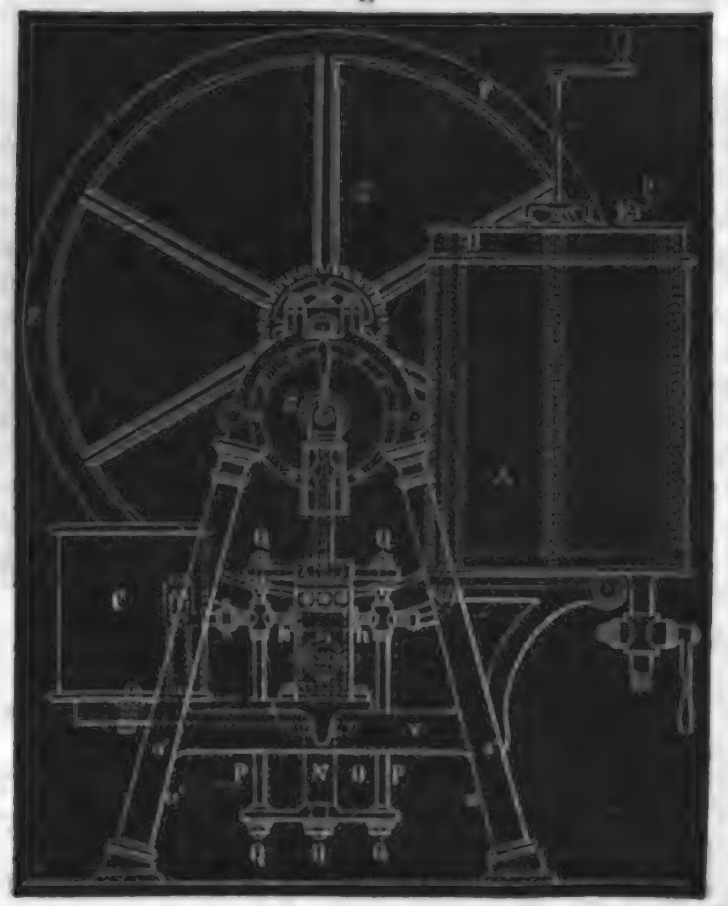
**) Berzelius, Handbuch der Chemie. Bd. I. Dingler's polyt. Journ. Bd. X. Bulletin de la société d'encour. Juli 1832.

in ein geſchloſſenes Gaſometer hineingetrieben oder es wird von ſeinem Erzeugungsorte aus durch eigene Druckkraft ins Waſſer hineingepreßt.

Für die Fabrikation der reichlich mit Kohlenſäure imprägnirten Waſſer iſt gewöhnlich der Bramah'ſche Apparat in Anwendung, bei welchem gleichzeitig durch ein und dieſelbe Pumpe Waſſer und Kohlenſäure in das eigentliche Sättigungsgefäß geführt werden. Dadurch wird hier noch ein Behälter erforderlich für das ſchon bis zur Sättigung vorbereitete Waſſer. Da die Pumpe hier immer in demſelben Maße wieder Kohlenſäure und Waſſer zuführt, als durch den Hahn auf Flaſchen gezogen wird, ſo bleibt in dem Condenſationsgefäß die mit Kohlenſäure zu ſättigende Flüſſigkeit ſtets in gleicher Menge vorhanden; man ſagt daher: dieſer Apparat arbeitet ununterbrochen. Bei einem zweiten Apparate, der außer dieſem häufig in Gebrauch iſt, wird das mit Kohlenſäure beladene Waſſer bis auf den letzten Tropfen abgezogen und dann die Operation wieder von Neuem begonnen.

Der Apparat von Bramah (Fig. I., II., III. und IV.) beſteht aus folgenden Haupttheilen:

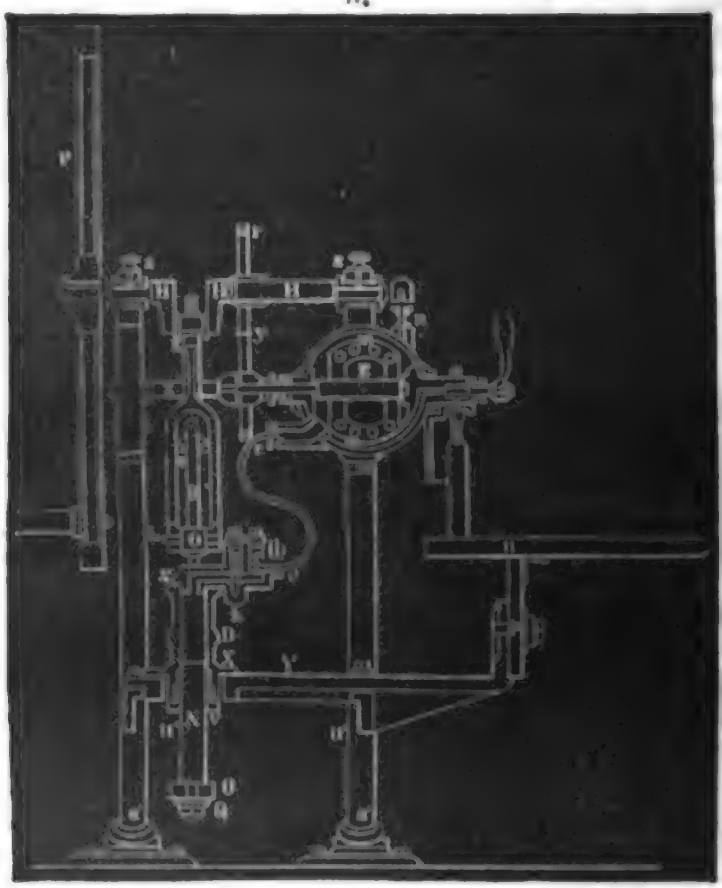
I.



A. Der Kohlenſäure-Generator A (Fig. I.) und das in dieſen geſtülpte Gaſometer B, durch deſſen Boden der Stiel c einer Rührvorrichtung geht, neben welchem ſich ein Hahn b befindet, um die in dem Gaſometer befindliche Luft beim Niedergehen deſſelben entweichen zu laſſen. Die Kohlenſäure tritt hier alſo

unmittelbar in das Gaſometer ein. Als Ausweg für die Kohlenſäure dient ein Rohr e, das ſich nach der anderen Seite hin (h Fig. I.) bis zu der an dem Stiefel der Pumpe D befindlichen Ventilkammer b (Fig. II.) fortſetzt. Es iſt mit einem Hahn i verſehen, durch deſſen Stellung man es ganz in ſeiner Gewalt hat, die Mengen der Kohlenſäure, die von der Pumpe fortgeführt werden ſollen, zu beſtimmen.

II.



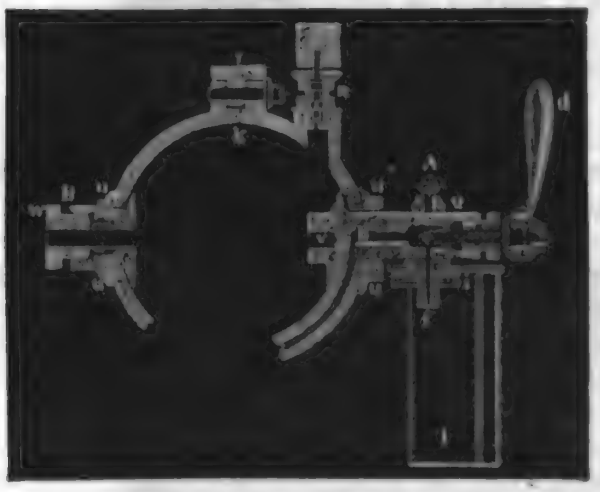
B. Das Gefäß C (Fig. I.) iſt der Behälter für die mit Kohlenſäure zu ſchwängernde Flüſſigkeit. Es ſteht wie das Gaſometer gleichfalls mit dem Stiefel der Pumpe in Verbindung durch ein Rohr h. Letzteres iſt gleichfalls mit einem Hahn i verſehen, der hier denſelben Zweck erfüllt, wie dort.

C. Die Pumpe. Der Stiefel der Pumpe D (Fig. II.) iſt von Meſſing oder Kupfer und hat einen breiten meſſingenen Ring X, womit er auf einem eiſernen Riegel des Geſtelles der Maſchine befeſtigt wird; oben bei S iſt er durch eine aufgeſchraubte meſſingene Kapſel, in der ſich auch die Ventilkammer b befindet, geſchloſſen und ſteht mit dieſer durch eine in der Kapſel befindliche Röhre in Verbindung. Die hier befindlichen Ventile öffnen ſich beide von unten nach oben; das eine liegt höher und dient zum Verſchluß der Röhre e, die zum Condenſator führt. Unter dem Ventil c treten die vom Gaſometer und Waſſerbehälter herkommenden Röhren h ein. Der Vorgang beim Spiel der Pumpe iſt hiernach leicht zu erkennen. —

Der Stempel oder Kolben der Pumpe iſt ein Cylinder von Kupfer N, der in der durch die Schraube V feſt eingeſchraubten, ledernen Manchette u luftdicht geht. Seine Bewegung erhält er durch Drehung des Schwungrades F, deſſen Axe H in dem oberſten Theile des Geſtelles, das die einzelnen Theile verbindet, in den Lagern geht. Dieſe Axe iſt mit einem doppelten Krummzapfen H H' verſehen, den bei K der Stiel einer Gabel mit einer Hülſe umfaßt; die Arme dieſer Gabel ſind bei L durch einen Bolzen, der durch ihre durchlöcherten Enden und die Mitte eines zu dem Rahmen des Kolbens gehörigen Riegels O geht, an dieſem Rahmen befeſtigt, wodurch bei Drehung der Welle H das Auf- und Niedergehen des Stempels bewirkt wird.

D. Der kugelförmige Condenſator E (Fig. I. und II.), in welchem die Imprägnation der Kohlenſäure bewerkſtelligt wird. Er beſteht aus zwei Halbkugeln, die aus dickem ſtark verzinntem Kupfer angefertigt und da, wo ſie gegen einander geſetzt werden, mit einem ringförmigen Reifen verſehen ſind. Durch letztere werden die beiden Halbkugeln vermittelſt 12 Bolzen feſt an einander geſchraubt. Ein gußeiſerner Reifen t (Fig. III. und IV.), zu dem Geſtell der Maſchine gehörig,

III.



IV.

worin der Condenſator vermittelſt vier anderer Schrauben befeſtigt wird, umſchließt kann den ganzen Umfang des Condenſators da, wo die beiden Halbkugeln zuſammengefügt ſind, wie dies bei K (Fig. III.) im Durchſchnitt erſichtlich iſt. An der einen Halbkugel befindet ſich das Ventil n (Fig. II. und III.) und der zum Ablaſſen des Waſſers aus dem Condenſator beſtimmte Hahn; an der anderen die Einmündung der von der Pumpe kommenden Speiſeröhre o und die Oeffnung, durch welche die Welle der in dem Condenſator befindlichen durchlöcherten Rührvorrichtung m (Fig. II.) austritt.

Das Ventil befindet ſich in einer auf dem Condenſator feſtgelötheten Büchſe (Fig. III.). Es iſt ein gewöhnliches Sicherheitsventil, das bei einem Druck von 6 bis 7 Atmoſphären gehoben wird. — Der luftdichte Verſchluß bei den anderen drei Oeffnungen iſt auf die Weiſe bewirkt, daß von dem Innern des Condenſators nach Außen hinaus Büchſen durch die Wände geſchraubt werden, die an dem Ende, das innerhalb des Ballons bleibt, mit einem Kragen verſehen ſind, der nach Zwiſchenlegung eines Leder- oder Bleiringes feſt gegen die innere Wand des Ballons drückt, wenn eine auf dem außerhalb des Ballons ſich befindenden

Digitized by Google

und mit Schraubengängen verſehenen Theile der Büchſe aufgeſchraubte Schraubenmutter ſtark angezogen wird, wie dies in u (Fig. III.) erſichtlich iſt.

Der Ablaßhahn A (Fig. III.) iſt ein Kegel- oder Stöpſelventil, verſehen mit der Röhre a, die bis auf den Grund des Condenſators ragt und andererſeits in den Hohlraum der Büchſe b übergeht; dieſer endigt mit einer coniſchen Erweiterung, wohinein der ebenfalls coniſche Stöpſel c ſich vertieft und genau ſchließt. In dem anderen Theil des Stöpſels, an welchem ſich die Handhabe d befindet, iſt ein Schraubengewinde mit weiten Gängen eingeſchnitten. Der ganze Stöpſel geht in einer mit Liderung verſehenen Stopfbüchſe, die den luftdichten Verſchluß herſtellt. Bei e iſt die Büchſe des Hahns bis zu dem inneren Hohlraum deſſelben durchbohrt, um die aus der durch das Rückwärtsſchrauben des Stöpſels geöffneten Röhre a herausdringende Flüſſigkeit abfließen zu laſſen. Das Stück g, an welchem die Röhre f angebracht iſt, bildet einen metallenen Reif, der ſo auf die Büchſe des Hahns geſchoben iſt, daß die Röhre f genau unter die ſeitliche Durchbohrung e deſſelben zu ſtehen kommt. Oben in dem Theile g, der Röhre f gegenüber, befindet ſich eine Schraube, die, wenn das ganze Stück ſeine richtige Stellung eingenommen hat, beim Anziehen auf die Büchſe des Hahns drückt, und dadurch die Röhre f vermittelſt eines zwiſchengelegten Kautſchukringes luftdicht gegen den Rand der Oeffnung e preßt. Die Röhre f iſt außen mit Schraubengängen verſehen, vermittelſt welcher auf ſie eine mit einem Ringe von Kautſchuk verſehene meſſingene Kapſel i aufgeſchraubt wird. Die Röhre f wird in die Oeffnung des Halſes der zu füllenden Flaſche geſteckt, die auf den einen Arm des Schwengels n (Fig. II.) geſtellt wird, der ſich in einem Charniere dreht und durch das Stück p an einem gußeiſernen Theile Y des Geſtells der Maſchine durch Schrauben befeſtigt iſt. Dieſer Schwengel dient dazu, die Mündung des Halſes der Flaſche feſt gegen den die Röhre f umgebenden Kautſchukring zu drücken, um dadurch das Entweichen von Gas zu verhindern. Damit die in der Flaſche enthaltene Luft entweiche, ſo muß ein geſchicktes Lüften des Halſes der Flaſche ſtattfinden. Iſt die Flaſche gefüllt, ſo wird der Hahn geſchloſſen, der Schwengel n losgelaſſen, die Flaſche raſch fortgezogen und verkorkt. Ein geſchickter Arbeiter kann auf dieſe Weiſe in einem Tage 1000 bis 1500 Flaſchen füllen. Damit er während des Füllens vor Verletzungen durch die nicht ſelten ſpringenden Flaſchen geſchützt iſt, befindet ſich an dem Hahn A (Fig. III.) noch das Stück l, ein Theil eines meſſingenen Cylinders, der über der Kapſel i befeſtigt, bis über die zu füllenden Flaſchen hinuntergeht und drehbar iſt.

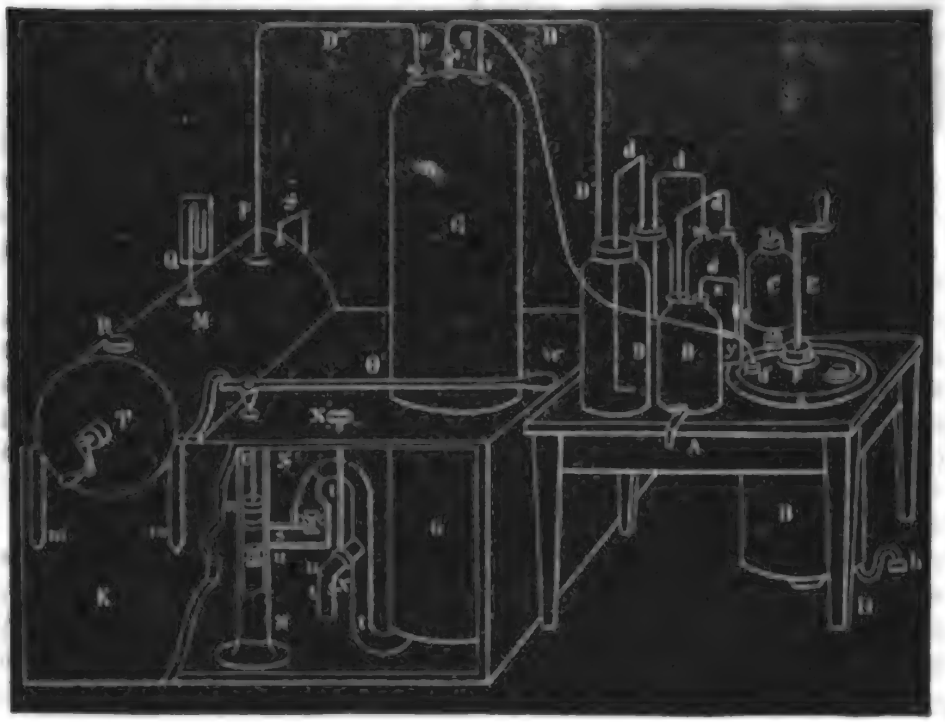
Die Welle der in dem Condenſator ſich befindenden Rührvorrichtung m hat innerhalb des Condenſators ihr Zapfenlager in v (Fig. II. und III.); auf der anderen Seite tritt ſie durch die Büchſe B aus dem Condenſator heraus. Um hier einen luftdichten Verſchluß zu erlangen, geht ſie durch eine Stopfbüchſe, in der gegen ſie, durch die Schraube w (Fig. II. u. III.) befeſtigt, ein umgefalzter Lederring drückt. Der andere Zapfen dieſer Welle geht in einem Lager, das ſich an dem gußeiſernen Geſtelle der Maſchine befindet. — Dieſe Welle trägt ein Sternrad y, in das die Zähne eines anderen (Fig. II.) eingreifen, welche ſich an der verlängerten Axe des Schwungrades befindet, ſo daß alſo durch Drehen des letzteren nicht nur die Pumpe, ſondern durch Vermittelung der Räder y und r auch die Rührvorrichtung in dem Ballon in Bewegung geſetzt und dadurch die Abſorption der Kohlenſäure begünſtigt wird.

Die Verbindung des Speiſerohres e mit dem Condenſator wird aus Fig. III. und IV. erſichtlich. Die ſämmtlichen einzelnen Theile der Maſchine befinden ſich auf einem gußeiſernen Geſtelle, das aus zwei gleichen Theilen (Fig. I.) beſteht, die durch die Riegel v vermittelſt Schrauben vereinigt werden. Die vier ſchiefen Säulen a' ſtehen jede auf einem Fuß, der mit zwei Schrauben verſehen iſt, um die ganze Maſchine damit an ihrem Standpunkte zu befeſtigen.

Sind das Gaſometer mit Kohlenſäure und das Gefäß C mit der entſprechenden Salzlöſung gefüllt und der Hahn i, der ſich an dem vom Gaſometer zur Pumpe führenden Rohre h befindet, geöffnet, ſo ſetzt man die Pumpe durch Drehen des Schwungrades in Bewegung und füllt zunächſt den Condenſator mit Kohlenſäure, die man wieder entweichen läßt, ſo lange bis keine Luft mehr in dem Condenſator enthalten iſt. Dann muß durch Probiren gefunden werden, welche Stellung man den Hähnen i zu geben habe, damit Waſſer und Kohlenſäure in dem richtigen Verhältniß in den Condenſator gelangen, d. h. daß derſelbe zu etwa zwei Drittheilen mit Waſſer erhalten werde, welches darin unter einem Drucke von 5 bis 6 Atmoſphären mit Kohlenſäure geſättigt werden muß. — Die Drehung des Schwungrades bewerkſtelligt man am beſten durch eine Dampfmaſchine.

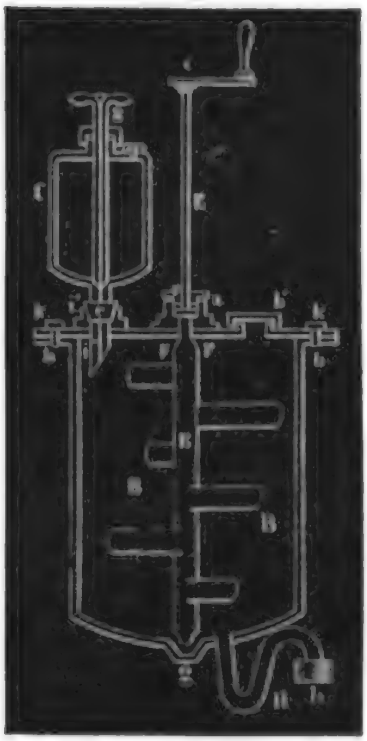
Bei der Fabrikation derjenigen künſtlichen Mineralwaſſer, die ausſchließlich zum mediciniſchen Gebrauch dienen und bei denen eine große Genauigkeit erforderlich iſt, wendet man in der Regel einen anderen Apparat an, der in neuerer Zeit, namentlich durch Mackenſen und Pollſtorf bedeutend verbeſſert worden iſt. Fig. V. giebt uns eine Totalanſicht des Apparates. Die Haupttheile, aus denen er beſteht, ſind ein Kohlenſäure-Entwickler, ein Gaſometer, eine Pumpe zum Comprimiren des Gaſes und das Miſchungsgefäß.

V.



Der Kohlenſäure-Entwickelungsapparat B (Fig. V.) beſteht aus dem Kohlenſäuregenerator und den Waſchgefäßen, welche zuſammen von dem Tiſche A getragen werden, in welchem ſich ein rundes Loch befindet, durch welches der Körper des Kohlenſäuregenerators B hindurchgeſenkt wird. Letzterer, den Fig. VI. im Durchſchnitt zeigt, beſteht zunächſt aus zwei Stücken: dem eigentlichen Körper B, der ein etwa $1\frac{1}{2}$′ bis 2′ langer und ungefähr $\frac{3}{4}$′ bis 1′ im Durchmeſſer haltender Cylinder von ſtarkem Kupferblech oder Gußeiſen iſt, innen noch mit einem Cylinder von Blei gefüttert, und dem Deckel F, der darauf geſchraubt wird. Der Körper B hat oben einen breiten ſtarken Rand b, womit er auf der Platte des Tiſches aufhängt und worauf der Deckel durch ſtarke Schrauben K K und vermittelſt eines auf beiden Seiten mit Kitt aus Mennige und Leinölfirniß beſtrichenen Bleiringes luftdicht befeſtigt wird. In der Mitte des Gefäßes B befindet ſich eine Rührvorrichtung (Fig. VI.), das in g auf dem Boden des Generators ſteht und deſſen Stiel E durch eine in der Mitte des Deckels befindliche Stopfbüchſe hindurchgeht; die Bewegung wird durch die Kurbel c bewerkſtelligt. Im Boden hat der Körper B ein Loch von einigen Zollen Durchmeſſer, in welches das an B angelöthete eben ſo weite S förmig gebogene Rohr H mündet. Dieſes Rohr dient zum Ablaſſen des Inhaltes nach der Beendigung der Operation und iſt durch eine meſſingene Kapſel h verſchloſſen.

VI.



Der Deckel F, ebenfalls aus ſtarkem Kupfer oder Gußeiſen, iſt mit 4 Oeffnungen (Fig. V. und VI.) b′, c′, d′ und e′ verſehen. Auf drei derſelben ſind meſſingene Büchſen gelöthet. b′, etwa 2 bis 3″ im Durchmeſſer, dient zum Einbringen von Magneſit und Waſſer; ſie wird durch eine auf die Meſſingbüchſe geſchraubte Metallkapſel, die mit einem Polſter von vulkaniſirtem Kautſchuk verſehen iſt, welches feſt gegen die Ränder der Meſſingbüchſe drückt, verſchloſſen. e′ iſt eine gewöhnliche Stopfbüchſe und hier iſt der luftdichte Verſchluß durch Liderung von Hanf und Leder bewerkſtelligt. c′ dient zur Aufnahme des Säurebehälters C; dieſer iſt ein cylindriſches Bleigefäß (Fig. VI.), im Lichten etwa 4″ im Durchmeſſer haltend und ungefähr 6″ hoch. Sowohl der obere, wie auch der untere Boden gehen in ihrer Mitte in röhrenförmige Anſätze über, von denen der obere etwa $1\frac{1}{2}$″ im Durchmeſſer haltend und $1\frac{1}{2}$ bis 2″ hoch und außen mit einem Schraubengewinde verſehen, die Stelle einer Büchſe vertritt. Die Oeffnung g dient zum Eingießen der Säure. Der untere Boden iſt in ſeiner Mitte durch eine coniſche Oeffnung durchbrochen, die in einen röhrenförmigen Fortſatz mündet; bei c befindet ſich an dieſer ſtarken Bleiröhre eine Verdickung von coniſcher Form und über dieſer, auf die Röhre c″ geſchoben, eine Schraubenmutter, die auf die Büchſe des Deckels paßt. Das Lumen dieſer auf dem Deckel befindlichen Büchſe iſt ebenfalls coniſch ausgedreht und zwar ſo, daß die coniſche

Verbindung c genau hineinpaßt. Dadurch wird beim feſten Anziehen der Schraubenmutter das ganze Gefäß C luftdicht auf dem Deckel befeſtigt. Jene Röhre dient zum Abfließen der Säure. Um aber eine zu ſtürmiſche Entwickelung des Gaſes zu verhüten oder die Entwickelung zu jeder Zeit zu unterbrechen, dient ein Stöpſelventil (Fig. VII.), das zu oberſt von Meſſing, zu unterſt von Blei mit Kupfer umſchloſſen, genau in die coniſche Oeffnung des unteren Bodens paßt, oben aber gleichfalls durch den Boden geht. Nicht weit unterhalb des oberen Bodens f iſt durch den Bleicylinder von der Seite eine Durchbohrung o geführt, die bis durch das Kupferrohr geht, ſo daß, wenn das Ventil und die Röhre o durch die Schraube n, welche gleichzeitig die Handhabe befeſtigt, oben geſchloſſen worden iſt, eine Communication und Gleichſtellung des Druckes in dem Generator B und dem Gefäß C durch die Röhren o und o' hergeſtellt iſt. Durch dicke Lederſcheiben und Aufſchrauben der Kapſel l wird hier ein luftdichter Verſchluß hergeſtellt. Durch Drehen des Stöpſels mittelſt n kann er gehoben und geſenkt und dadurch der Zufluß der Säure regulirt oder unterbrochen werden.

VII.

Die vierte Oeffnung d' (Fig. V.) geht in ein dem Deckel aufgelöthetes Rohr aus, das ſich in zwei Arme theilt, deren jeder einen Hahn trägt. Von dieſen Armen tritt der eine d durch den Deckel des erſten Waſchgefäßes ein und geht bis auf den Boden deſſelben, der andere aber D' führt direct nach dem Gaſometer G und mündet oben in dieſes durch einen Hahn ein. D D ſind Waſchgefäße entweder von ſtarkem Kupfer oder Glas, die durch kupferne Röhren d d d mit einander verbunden ſind. Aus dem letzten dieſer Waſchgefäße tritt die reine Kohlenſäure durch das Rohr D'', das an ſeinem Ende mit dem Hahn r in den oberen Theil des Gaſometers mündet, in dieſen.

Den zweiten Theil des Apparates bilden das Gaſometer mit der Pumpe. Beide befinden ſich mit dem Miſchungsgefäße in einem Kaſten K, aus dicken eichenen Brettern zuſammengefügt, inwendig entweder mit Zinkblech oder verzinntem Kupferblech ausgeſchlagen. Auf dem Boden dieſes Kaſtens, der beim Gebrauch bis zu $^3/_4$ ſeiner Höhe mit Waſſer gefüllt iſt, ſteht das Gaſometer G und iſt hier durch einige auf dem Boden befeſtigte Klötze eingeklemmt. Aufrecht wird es durch den Deckel des Kaſtens gehalten, durch den es hindurch geht. Das Gaſometer iſt aus ſtarkem verzinnten Kupferblech angefertigt, ungefähr 6' lang und 1 bis $1^1/_2$' im Durchmeſſer. W iſt ein Glasrohr, durch welches der Waſſerſtand angezeigt wird. Durch die Hähne p, q und r münden die drei Röhren D', D'' und D'''. Durch D'' tritt die Kohlenſäure während der Entwickelung ein. D' führt direct nach dem Kohlenſäuregenerator und hat den Zweck, nach Schließung der Hähne p, r und s das im oberen Theile von G condenſirte Gas nach B zu leiten, um durch den Druck deſſelben die in B befindliche Flüſſigkeit durch das Rohr H abzulaſſen. Durch D''' gelangt das comprimirte Gas in das Miſchungsgefäß H.

Im Boden des Gaſometers G befindet ſich ein Loch mit einer meſſingenen

Faſſung, in welches das von der Pumpe kommende weite Rohr t eingeſchraubt wird. — Die mit dem Gaſometer in Verbindung ſtehende Pumpe beſteht aus dem meſſingenen oder kupfernen Pumpenſtiefel N, der unten im Boden des Kaſtens und oben in einer Durchbrechung des Deckels befeſtigt iſt. Von unten tritt durch den den Fuß des Stiefels umgebenden Siebboden das Waſſer in den tieferen Theil des Stiefels. Der letztere beſteht aus zwei Theilen, dem unteren N mit dem Ventil u, von welchem ein Rohr S, welches ein Ventil trägt, abgeht, und dem oberen N', der unmittelbar über der Mündung von S in N, bei n auf den unteren Theil befeſtigt wird. In dem Stiefel N bewegt ſich der vermittelſt der Kolbenſtange befeſtigte Kolben. Dieſer iſt maſſiv und ſein luftdichtes Schließen beim Auf- und Niedergehen durch Manchetten von Leder bewirkt. Unmittelbar über dem in S befindlichen Ventile v wird das Rohr t durch eine Flaſchen-Verbindung auf dem Rohr S befeſtigt; durch Zwiſchenlegung einer Blei-, Leder- oder Kautſchuk-Scheibe und mit Hülfe eines Kitts aus Leinölfirniß und Mennige wird der luftdichte Verſchluß hergeſtellt. Von dem Rohr t, welches das Gaſometer und die Pumpe mit einander verbindet, geht ein kurzes, nach unten gebogenes Rohr ab, das den Hahn x trägt, der vermittelſt des durch den Kaſten gehenden Schlüſſels x' geöffnet und geſchloſſen werden kann. Dieſer Hahn wird geſchloſſen, ſobald Waſſer in das Gaſometer gepumpt werden ſoll, und geöffnet, ſobald das im oberen Theile des Gaſometers condenſirte Gas verbraucht iſt und eine neue Entwickelung beginnt. Das friſch zuſtrömende Gas verdrängt das Waſſer im Gaſometer und dieſes ſtrömt durch das kurze Rohr aus.

Beim Heben des Kolbens tritt durch das Ventil u, welches ſich, ſo wie v, von unten nach oben öffnet, durch die in dem Fuße des Stiefels befindlichen Oeffnungen Waſſer in den Stiefel, das beim Niedergange des Kolbens das Ventil u ſchließt, dagegen das höher liegende v hebt und dann in das Rohr t und durch dieſes von unten in das Gaſometer gepumpt wird. Iſt das Gaſometer mit Kohlenſäure gefüllt, ſo wird dieſe in dem oberen Theile des Gaſometers durch das beim Pumpen mit Gewalt durch t von unten eindringende Waſſer auf ein viel geringeres und dichteres Volumen zuſammengepreßt. Kennt man den Rauminhalt des Gasbehälters und iſt das Waſſerſtandsrohr graduirt, ſo kann man hieraus die Menge der Kohlenſäure und die Stärke des Druckes, unter dem ſie ſich befindet, beſtimmen. Da bei dieſem Apparate die aus dem letzten Waſchgefäße, oben bei r, in das Gaſometer eintretende reine Kohlenſäure vor ihrer Verwendung mit keinem anderen Körper in Berührung tritt, ſo iſt er dem Bramah'ſchen vorzuziehen, weil hier ſowohl die Kohlenſäure, wie auch das Waſſer unmittelbar vor ihrer Verwendung noch die Ventile und den Pumpenſtiefel zu paſſiren haben und dadurch leicht wieder Geſchmack und Geruch annehmen können.

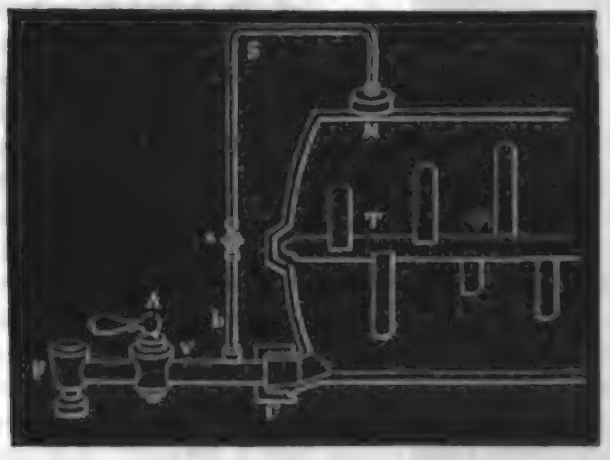
Das Miſchungsgefäß M iſt ein dem Gaſometer ganz ähnlicher Cylinder, der mit ſeinen beiden Enden in halbkreisförmigen Ausſchnitten zweier Kaſtenwände liegt und durch eiſerne Bänder m, an dem Kaſten durch Schrauben befeſtigt, in ſeiner Lage gehalten wird. Es iſt ſo groß, daß es von 150 bis 200 Pfd. Waſſer etwa bis zu $^3/_4$ gefüllt iſt. Mitten durch den Cylinder geht der Länge nach eine Rührvorrichtung von ſtark verzinntem Kupfer. Sie tritt durch die Stopfbüchſe T aus dem Cylinder heraus und iſt hier mit einer Kurbel zum Drehen verſehen. Oben auf dem Cylinder befinden ſich 4 Oeffnungen, auf die meſſingene Hülſen in M gelöthet ſind. Die eine, R, dient zum Einbringen der Flüſſigkeiten und wird

Digitized by Google

durch Aufſchrauben einer Kapſel von Meſſing, die innen mit einem Polſter von Kautſchuk verſehen iſt, luftdicht verſchloſſen. In die zweite iſt ein Manometer Q eingeſchraubt; die dritte trägt den Hahn P, in den das vom Gaſometer kommende Speiſerohr D''' tritt. Die vierte Oeffnung nimmt das Ende eines dünnen Kupferrohrs S auf, das, von dem Entleerungshahn ausgehend, dazu dient, einestheils der in den zu füllenden Flaſchen enthaltenen Kohlenſäure einen Ausweg zu bieten, anderntheils das ausgefloſſene Waſſer in den Flaſchen ſogleich wieder unter denſelben Druck zu bringen, unter welchem es im Miſchungsgefäß ſich befand, weil ſonſt beim Abziehen des Waſſers ſo lange Kohlenſäure daraus entweichen würde, bis der Druck derſelben in dem oberen Theile der Flaſche dem in M gleich wäre. — Dieſes Rohr mit dem Entleerungsrohr und Hahn zeigt Fig. VIII. im Durchſchnitt.

M (Fig. VIII.) iſt das in Fig. V. nach hinten gekehrte, nicht ſichtbare Ende des Miſchungsgefäßes. Es beſitzt an dem tiefſten Punkte noch eine Oeffnung, auf die an den Cylinder eine mit Schraubengewinden verſehene Büchſe U angelöthet iſt. Das Innere derſelben iſt coniſch ausgedreht und zwar ſo, daß die coniſche Oeffnung ſich von außen nach innen verjüngt. In dieſe Büchſe paßt genau das in einen Conus ausgehende Ende des Ablaßrohrs V, mit dem doppelt durchbohrten Hahn A, und welches mit der Zupfropfmaſchine (Fig. X.) ein Stück ausmacht. Die beiden Durchbohrungen des Hahnes A (Fig. IX.) entſprechen genau den beiden Conilen des Rohres V (Fig. XII.), ſo daß durch Oeffnen und Schließen des Hahnes gleichzeitig auch a und b geöffnet oder geſchloſſen werden. Der kleine Hahn s an dem Rohre S wird nur beim Abziehen des fertigen Waſſers auf Flaſchen geöffnet. Dadurch iſt dann die Verbindung des Inneren der Flaſche mit dem oberen Theile des Miſchungsgefäßes, der die unter einem Druck von mehreren Atmoſphären zuſammengepreßte Kohlenſäure enthält, vermittelſt der Röhren b und S bewerkſtelligt, ſo daß in demſelben Augenblick, wo der Hahn A geöffnet wird, in der Flaſche derſelbe oder doch ſehr nahezu derſelbe Druck auf das durch a ausfließende Waſſer wirkt, wie der, unter dem es ſich in M befand, ſo daß alſo aus ihm keine Kohlenſäure entweichen kann.

VIII.



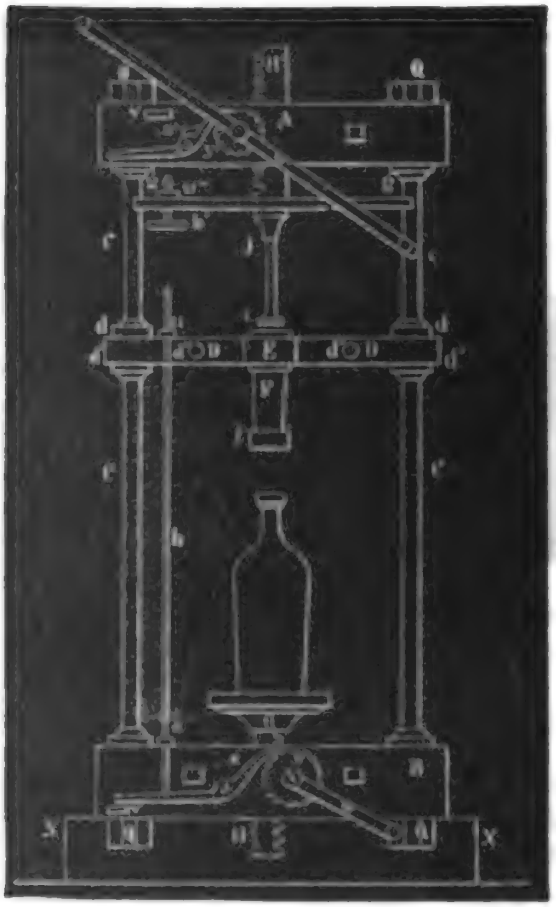
IX.

Vor dem Füllen werden die gut gereinigten Flaſchen ſämmtlich mit Kohlenſäure gefüllt. Dieſe nicht verdichtete Kohlenſäure miſcht ſich mit der dichteren, die den nicht mit Waſſer erfüllten Raum in M einnimmt. Dadurch tritt eine Verminderung des Druckes überhaupt, der auf dem Waſſer in der Flaſche ruht, ein im Verhältniß zu dem Druck, der in M auf das Waſſer wirkte, bevor der Hahn A geöffnet wurde. Damit in Folge dieſes Unterſchiedes kein Gas entweichen kann,

erhöht man den Druck, unter dem das Waſſer ſteht, nachdem es mit Kohlenſäure geſättigt iſt, noch um ein oder anderthalb Atmoſphären. Es geſchieht dies dadurch, daß man noch weiter Kohlenſäure nach M pumpt. Damit dieſer Ueberſchuß von Kohlenſäure von dem Waſſer nicht abſorbirt werde, unterläßt man die Bewegung der Rührvorrichtung. Sollte ſich während des Abziehens des Waſſers wegen der Ausdehnung des Gaſes der Druck, unter dem das Waſſer ſteht, zu ſehr vermindern, ſo muß zeitweiſe immer wieder neue Kohlenſäure nachgepumpt werden.

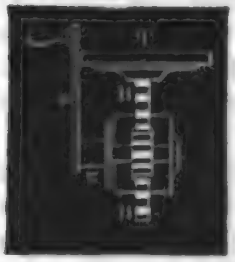
Wir hätten nun noch die Zupfropfmaſchine zu beſchreiben, die durch Fig. X. verdeutlicht wird. A und B ſind zwei ſtarke hölzerne Riegel, die mit einander durch die eiſernen Säulen C C vermittelſt der Schrauben Q feſt verbunden ſind. Durch jeden dieſer Riegel geht eine eiſerne Are X und X', die vermittelſt der Kurbeln w und w' gedreht werden können. Da zu dem Hindurchtreiben des Korkes durch F eine nicht unbedeutende Kraft erforderlich iſt, ſo iſt die Kurbel w' ziemlich lang und am Ende mit einer Metallkugel verſehen, damit ſie in der Wirkung einem Schwungrade gleiche. An jeder dieſer Aren befinden ſich zwei gezahnte Räder, von denen das eine in einer Höhlung des Riegels ſich befindet, das andere außerhalb des Riegels angebracht iſt. Die Zähne des in dem letzteren ſich drehenden Rades greifen in zwei gezähnte eiſerne Stangen H und H', wodurch dieſe gehoben oder geſenkt werden können, wie dies Fig. XI. näher verdeutlicht. In die Zähne der Räder y und y' (Fig. X.) greifen die Enden der Sperrkegel z und z' ein, welche durch die Federn v und v' gegen die Räder gedrückt, ein Zurückgehen derſelben verhindern. H trägt einen Teller T, auf den die zu füllende Flaſche geſtellt und dann feſt gegen den in f an dem Theile F ſich befindenden Kautſchuk-Wulſt gedrückt wird. H' trägt nahe am Ende einen eiſernen Riegel, der die Säulen C C bei g g zur Hälfte umfaßt und dazu dient, die Stange H' beim Auf- und Abwinden perpendiculär zu führen. Der ſtählerne Stempel J mit ſeinem Knopf e vertieft ſich beim Hinabwinden der Stange in den coniſchen Meſſingcylinder F und dient dazu, den Kork in die Flaſchenöffnung einzutreiben. Iſt dies geſchehen, ſo löſt ſich durch eine einfache Vorrich-

X.



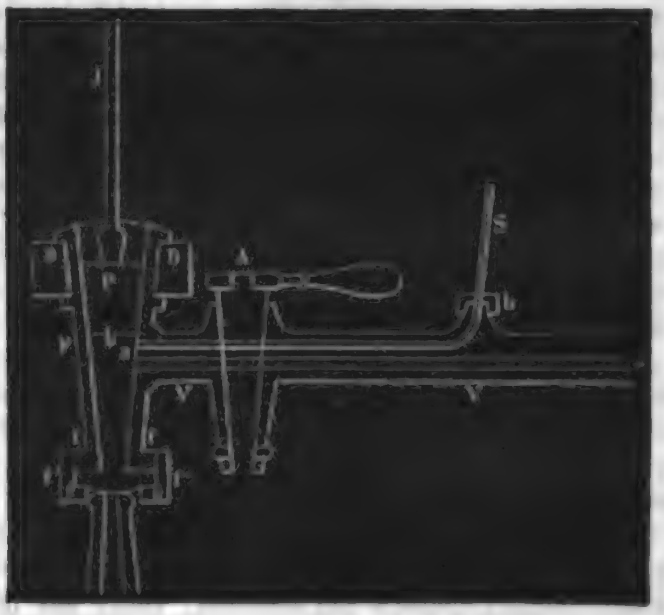
tung der Sperrkegel in dem Rade y und der Teller mit der Flaſche bewegt ſich abwärts. F iſt mit dem Abflußrohr des Miſchungsgefäßes M (Fig. VIII.) verbunden, und durch die gußeiſernen Theile D D, die durch Schrauben zuſammengehalten werden, bei E eingeklemmt. Dieſer Riegel umfaßt die Säulen bei d und wird durch die an denſelben befindlichen Capitäler d d' und d d' feſtgehalten. a, u' und u'' ſind angeſchraubte, kleine, durchbohrte, eiſerne Plättchen. Durch a und u' geht eine Eiſenſtange b, die auf dem Hebelarm des unteren Sperrkegels ſteht, unter den die Feder v drückt. In u'' befindet ſich eine Schraube mit einem Knopfe, der beim Niedergange gerade auf die Eiſenſtange trifft; dieſe drückt durch den Hebelarm des Sperrkegels die dieſen gegen y preſſende Feder nieder; der Sperrkegel ſpringt aus und der Teller mit der Flaſche ſinkt herab.

XI.



Das Stück F der Maſchine mit dem Abflußrohr V und dem Ablaßhahn A, ſo wie dem unteren Ende des Gasrohres S zeigt Fig. XII. im Durchſchnitt. Der innere coniſche Raum von F iſt genau ausgedreht und polirt; in ihn münden die Röhren V V, durch welche das Waſſer ausfließt und die Gasröhre C, durch welche

XII



in der Flaſche derſelbe Druck, wie im Miſchungsgefäße hergeſtellt wird. Beim Füllen der Flaſchen wird ein vorher durch Waſſerdämpfe erweichter Kork P von oben in F gebracht und dann durch den Stempel J ſo weit eingepreßt, daß ſein unteres Ende genau über der Mündung des Gasrohres b ſich befindet. Dadurch iſt F nach oben hin luftdicht verſchloſſen. Oeffnet man nun den Hahn A, ſo fließt das Waſſer ruhig und ohne den geringſten Verluſt an Kohlenſäure in die Flaſche, ſobald das Gas längere Zeit, z. B. 12 Stunden mit dem Waſſer in Berührung geweſen iſt, wodurch eine innigere Vereinigung der Kohlenſäure mit dem

Waſſer ſtattgefunden hat. Iſt dieſe gefüllt, ſo wird der Hahn geſchloſſen und der Kork P nun in die Mündung der Flaſche gepreßt, wo er ſich augenblicklich wieder ausdehnt und dieſe luftdicht verſchließt. Auf die Auswahl der Korke muß große Sorgfalt verwendet werden. Die gefüllten Flaſchen gehen ſofort in die Hände eines anderen Arbeiters über, der den Kork mit einer Schlinge von Zinndraht oder Bindfaden, die an dem Halſe der Flaſche befeſtigt wird, überzieht, um dadurch ein Wiederhinaustreiben der Korke zu verhindern. Sollen die Flaſchen verſendet werden, ſo verpicht man ſie oder erſetzt auch die Verpichung durch eine zinnerne Callotte.

Da das Miſchungsgefäß hier nur klein iſt und daher die Operationen öfter wiederholt werden müſſen, ſo wird mit dieſem Apparat nicht ſo viel geſchafft wie mit dem von Bramah. Sobald aber zwei Arbeiter dabei thätig ſind, können doch täglich bis zu 700 Flaſchen gefüllt werden. Hierbei iſt ein Zerſpringen der Flaſchen nicht ſelten. Um die Arbeiter vor Gefahr zu ſchützen, werden entweder die Flaſchen mit einer Vorrichtung umgeben, welche die umhergeſchleuderten Glasſplitter abhält, ohne bei der Arbeit im Wege zu ſein, oder die Arbeiter ſind an den Händen und im Geſicht mit dicken Handſchuhen und Drahtmasken bekleidet.

Sind die Flaſchen gut verkorkt und werden ſie liegend aufbewahrt, wo der Kork durch die beſtändige Berührung mit dem Waſſer ſich ſo ausdehnt, daß keine Spur von Kohlenſäure entweicht, ſo halten ſich die künſtlichen Mineralwaſſer jahrelang, ohne ſich zu zerſetzen oder einen Bodenſatz abzulagern. Anders aber iſt es bei dem Gebrauch, ſobald der Kork gelüftet wird. Das Entweichen von Kohlenſäure und die Einwirkung der atmoſphäriſchen Luft rufen dann ſehr bald Veränderungen hervor. Daſſelbe findet aber auch bei den natürlichen Mineralwaſſern ſtatt, die in Flaſchen verſendet werden. Hier wie dort iſt eben nur das erſte Glas gleichwerthig mit dem an der Quelle getrunkenen.

Um dieſem Uebelſtande abzuhelfen, hat man mit den Fabriken, in denen die künſtlichen Mineralwaſſer angefertigt werden, die ſogenannten Trinkanſtalten verbunden, deren Aufgabe es iſt, dem Trinkgaſt, der an den künſtlichen Quellen Hülfe ſucht, jeden Becher in demſelben heilkräftigen Zuſtande zu überliefern wie an der Quelle. Für jede Quelle findet ſich hier ein oder je nach dem Bedarf mehrere Zinncylinder aufgeſtellt, in denen das Mineralwaſſer fortdauernd genau unter demſelben Druck und gegen das Eindringen der Luft geſchützt erhalten wird, ſo daß der letzte Becher genau wie der erſte in gleicher Beſchaffenheit aus der künſtlichen Quelle fließen. Die warmen Mineralwaſſer werden genau auf der Temperatur der natürlichen Quellen gehalten, da bei manchen Mineralwaſſern, wie namentlich bei den einzelnen Quellen von Karlsbad, einzig nur in dem Temperaturunterſchied die verſchiedene Wirkung bedingt iſt.

Es iſt nicht zu leugnen, daß die künſtlichen Mineralwaſſer unendlich vielen Leidenden, denen es nicht vergönnt war, die Quellen ſelbſt zu beſuchen, Hülfe gewährt haben. Durch ſie iſt die Kenntniß der Mineralwaſſer und ihrer Wirkungen ungemein verbreitet und ein weit größeres Gemeingut geworden. Aus dieſem Grunde ſind auch die natürlichen Quellen nicht, wie man es anfangs befürchtete, benachtheiligt worden. Im Gegentheil iſt mit dem wachſenden Verbrauch der künſtlichen Mineralwaſſer auch die Frequenz der Bäder Hand in Hand gegangen.

Gleich bei den erſten Verſuchen, die Struve anſtellte, ſprach Kreyſſig

die Hoffnung aus, es dürfte nicht unwahrſcheinlich ſein, daß die Chemie im Stande ſein werde, ſelbſt wirkſamere Mineralwaſſer zu bereiten, als die Natur ſelbſt. Auch dies hat ſich im Laufe der Zeit beſtätigt. Nicht allein daß hierdurch die in vielen Quellen vorkommenden Schwankungen, die nothwendig von entſchiedenem Einfluß auf deren Wirkung ſein müſſen, ausgeglichen und auf feſte Werthe zurückgeführt ſind, ſondern es ſind auch wirklich heilkräftige Mineralwaſſer hergeſtellt, die in der Natur gar nicht vorkommen. Unter dieſen erfreuen ſich z. B. das kohlenſaure Bitterwaſſer, das kohlenſaure Magneſiawaſſer, die Natrokrene und das Eiſenwaſſer bereits eines ausgebreiteten Rufes und Verbrauchs. Man hat auch angefangen durch die Schwängerung mit Kohlenſäure verſchiedene Salzſoolen trinkbarer zu machen.

In neuerer Zeit hat man daſſelbe Princip auch auf diejenigen Quellen übertragen, die zum Baden verwendet werden. Dadurch, daß man dieſelben eindampft und den feſten Rückſtand in den Handel bringt, hat man es möglich gemacht, eben ſo gut die Bäder wie die Trinkquellen gebrauchen zu können, ohne daß man nöthig hat eine koſtſpielige Reiſe anzutreten. Wahrſcheinlich wird ſich auch bald künſtliches Seewaſſer als Handelsartikel geltend machen, ſobald nur die artige Spielerei „der Ocean auf dem Tiſch" bei uns mehr Verbreitung gefunden haben wird.

Die mit Kohlenſäure reich beladenen Luxuswaſſer ſind ein großer Liebling des Publikums geworden. Der große Beifall, den ſie gefunden, hat zuerſt in Frankreich Veranlaſſung gegeben, kleine transportable Apparate für Haushaltungen zur eigenen Darſtellung mouſſirender Getränke jeder Art anzufertigen, die auch bei uns bereits große Verbreitung gefunden haben.

Der erſte Apparat dieſer Art war der ſogenannte Liebig'ſche Krug, dem ein glücklicher Zufall als Empfehlungsbrief diente. Der Name nämlich verleitete einen Jeden, dieſen Krug für eine Erfindung des großen Chemikers zu halten, während dieſer nichts damit gemein hatte. Der Krug wurde zuerſt in Darmſtadt nach franzöſiſchem Muſter angefertigt und zwar vereinfacht und dadurch leichter zu handhaben.

Dieſer Apparat (Fig. XIII.) iſt eine ſtarke aus Steingut geformte Flaſche, deren Inneres, wie dies Fig. XIV. im Durchſchnitt zeigt, durch den doppelten Boden A in zwei Abtheilungen B und C' getheilt iſt, von denen die letztere etwa $1^1/_4$ bis $2^1/_2$ Quart preuß. faßt, ohne ganz davon erfüllt zu ſein, während die untere etwa nur $^1/_4$ bis $^1/_2$ Pfund Waſſer aufnimmt.

B iſt hier der Kohlenſäuregenerator; er wird gefüllt durch die Oeffnung b und dieſe dann durch den Zinnpfropfen (Fig. XV.) verſchloſſen, der durch eine Bajonettſchloß-Einrichtung befeſtigt wird. In den Körper des Stopfers A iſt ein Falz vertieft, worin ein Ring von vulcaniſirtem Kautſchuk G liegt. Unter letzterem befindet ſich ein zinnerner Reif B, der ſich auf dem viereckigen Theile A' des Zinnkörpers rück- und vorwärts bewegen, aber nicht drehen kann. Derſelbe dient einestheils zum Befeſtigen der ganzen Verſchließung, anderentheils als feſte Widerlage, gegen welche ſich beim Drehen der Schraubenmutter C der Kautſchukring G preßt.

Der Boden A (Fig. XIV.) iſt bei a durch einige ganz feine Haarröhrchen durchbrochen, welche der in B entwickelten Kohlenſäure als Ausweg dienen.

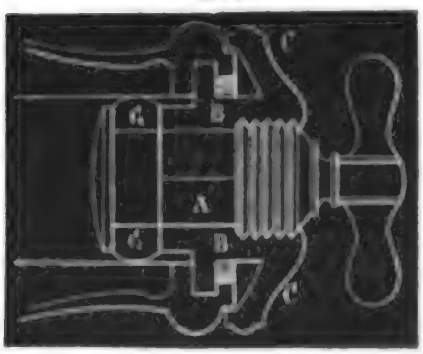
C' nimmt die Flüſſigkeit auf, welche mit Kohlenſäure geſättigt werden ſoll. Durch die Haarröhrchen geht nichts von der Flüſſigkeit aus C' nach B, weil im unteren Raume der Druck ja größer iſt, wie im oberen. Der eigentliche Hals der Flaſche C' wird durch eine Vorrichtung (Fig. XVI.) geſchloſſen, die gleichfalls aus Zinn

XIII.

XIV.

angefertigt und dazu beſtimmt iſt, die mit Kohlenſäure imprägnirte Flüſſigkeit ausfließen zu laſſen. A iſt hier ganz analog dem oben beſchriebenen Zinnpfropfen und ſeiner ganzen Länge nach mit einer Durchbohrung verſehen. Dieſe bildet drei weitere Räume a, e und k, die durch zwei engere mit einander in Verbindung ſtehen. An a iſt das zinnerne Rohr F angeſchraubt, das bis auf den durchlöcherten Boden A der Flaſche Fig. XIV. geht. In a befindet ſich eine ſtarke Spiralfeder, die mit F verbunden iſt und gegen das Ventil v und dadurch dieſes gegen den kleinen röhrenförmigen Fortſatz des in die Urne e führenden Kanals drückt. Auf das obere Ende des Ventilſtückes drückt von oben ein an dem Knopfe k befeſtigtes Stäbchen von Zinn, welches durch eine Lage von Gummiſcheibchen auf dem Boden von K hindurchgeht. E dient zum Abfließen der Flüſſigkeit, ſobald man den Knopf K drückt, wodurch das Ventil v abwärts bewegt und der nach E führende Kanal geöffnet wird. Dieſer Mechanismus leidet aber bei öfterem Gebrauch ſehr bedeutend, wodurch läſtige Reparaturen herbeigeführt werden.

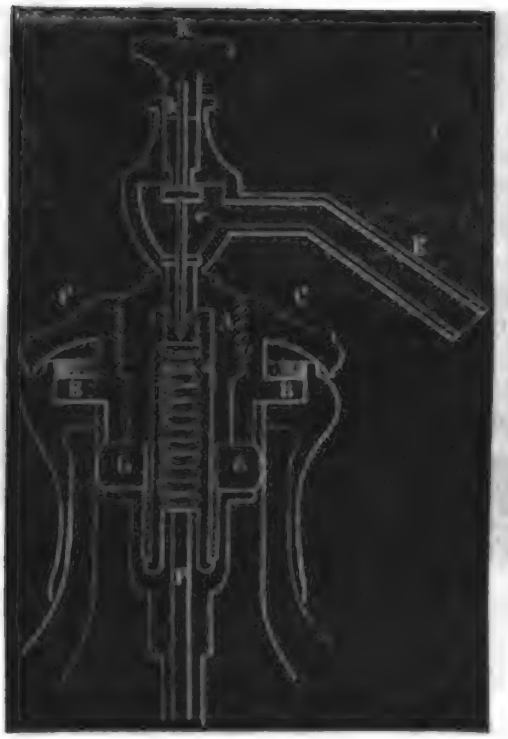
XV.



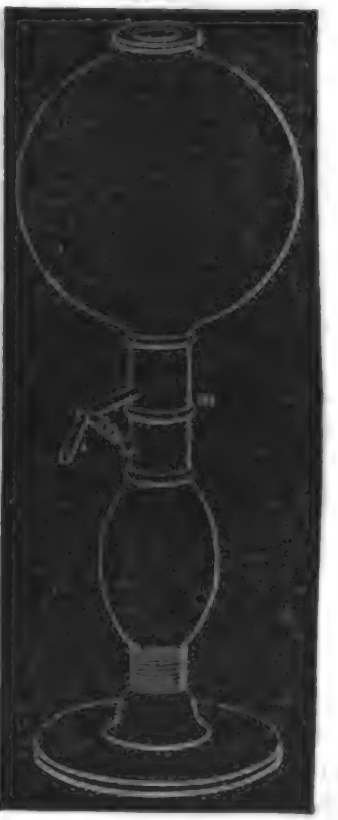
Ein anderer Apparat dieſer Art Fig. XVII. wird beſonders von Greßler in Erfurt ver-

breitet. Es ſind dies zwei Kugeln aus ſtarkem Glaſe, die durch einen cylindriſchen Hals von Zinn mit einander verbunden ſind und von denen die kleinere als Kohlenſäuregenerator dient. Der Hals beſteht aus zwei Theilen, die bei m durch eine Schraube und Kautſchukring luftdicht mit einander verbunden und je an die entſprechende Glaskugel angekittet ſind. Der obere Theil iſt im Innern durch einen zinnernen Pfropf verſchloſſen, welcher mit 6 bis 8 feinen Löchern verſehen iſt.

XVI.



XVII.

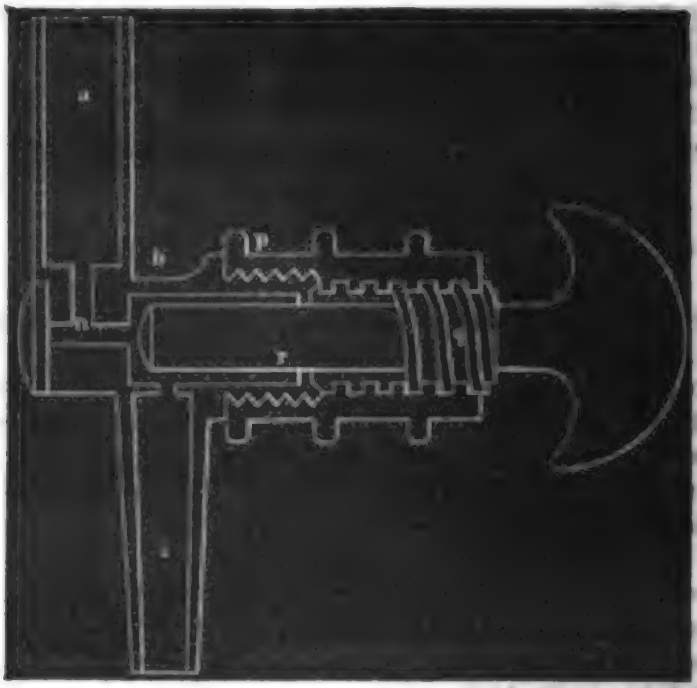


Hier iſt auch der Hahn (Fig. XVIII.) angebracht, aus welchem das Waſſer ausfließt. Durch a iſt der Hahn an dem Halſe befeſtigt. Darin ſitzt ſenkrecht die Röhre b, welche um die Röhrendicke von a verſchoben, weiter nach vorne eine andere Abflußröhre c hat. So lange der Canal m frei iſt, kann das mit Kohlenſäure beladene Waſſer ausfließen; drückt man aber den Bolzen n gegen den Canal m, ſo hört das Ausfließen auf. Dreht man den Bolzen n vermittelſt ſeines Griffes r vorwärts, d. h. in dem Sinne, wie man eine Schraube aufdreht, ſo hört das Ausfließen auf. Dieſer Schluß iſt ſicherer als ein Ventil, weil man den Bolzen beliebig feſtdrücken kann. Der Canal m iſt mit einem durchbohrten Lederſtreifen umgeben, damit der Bolzen n auf einen weichen Körper drücke. Gewöhnlich werden dieſem Apparate noch ein kleiner Zinntrichter zum bequemen Einfüllen der Pulver und Füllungen und ein Schraubenſchlüſſel beigegeben.

Je nach Bedürfniß kann man den Apparat in drei verſchiedenen Größen erhalten, zu $1^1/_2$, 3 und 6 Weinflaſchen Inhalt. Die Kugeln ſind aus weißem,

blauem oder rothem Glaſe angefertigt. Das Glas iſt ſehr langſam in dem Verglühofen abgekühlt und daher ohne alle innere Spannung und ſehr ſtark. Der Preis eines ſolchen Apparates ſtellt ſich auf 4 bis $8\frac{1}{2}$ Thlr. Von höchſter Feinheit und Eleganz ſind die aus Kryſtallglas angefertigten, die geſchmackvoll geſchliffen ſind. Dieſer Apparat iſt dem Kruge vorzuziehen, weil man ſich einfach durch den Augenſchein von dem jedesmal vorhandenen Vorrath überzeugen kann

XVIII.



und hier alſo nicht, wie bei dem Kruge, in die Verlegenheit geräth, daß die Quelle verſiegt, wenn man befreundete Perſonen durch einen labenden Trank erquicken will.

Zur Erzeugung der Kohlenſäure bedient man ſich hier des kryſtalliſirten kohlenſauren Natrons oder beſſer des Natronbicarbonat und der Weinſteinſäure. Die letztere wendet man am beſten in kleinen Kryſtallen an, damit nicht die Löſung zu raſch und dadurch eine ſtürmiſche Entwickelung der Kohlenſäure erfolge. Die Maſſe der einzubringenden Brauſemiſchung richtet ſich nach dem Rauminhalt der Flaſche. 16 Gran Kohlenſäure genügen, um 1 Pfd. Waſſer unter dem gewöhnlichen Druck mit Kohlenſäure zu ſättigen, alſo 32 Gran für 2 Atmoſphären ꝛc. Weiter als bis 4 Atmoſphären zu gehen iſt nicht rathſam, weil dann leicht die Flaſchen geſprengt werden. Um ein Pfund Waſſer unter einem Druck von 4 Atmoſphären Gas zu ſättigen, ſind 464 Gran kryſtalliſirtes kohlenſaures Natron oder 130 Gran doppelt kohlenſaures Natron und 217 Gran Weinſteinſäure erforderlich. Es bilden ſich hierbei 165 Gran weinſteinſaures Natron, welche noch nicht 2 Unzen Waſſer zur völligen Löſung nöthig haben. Statt der letzteren hat man in neueſter Zeit ſaures ſchwefelſaures Natron oder Kali, die ſehr billig ſind, empfohlen.

Die Abſorption der Kohlenſäure kann man durch wiederholtes Schütteln des Apparates befördern. Sobald aber das Waſſer mit Kohlenſäure geſättigt iſt, muß man eine ſtarke Bewegung des Apparates vermeiden, weil dann gerade der entgegengeſetzte Erfolg eintritt. Das nicht abſorbirte Gas ſteigt durch die Flüſſigkeit hindurch und ſammelt ſich oberhalb derſelben an, ſo daß von dieſer Kohlenſäure ein Druck auf die Oberfläche der Flüſſigkeit ausgeübt wird, der ſie zwingt, beim Oeffnen des Hahnes oder Ventiles auszufließen. Aus dieſem Grunde darf man den Krug oder die größere Glaskugel nie ganz voll füllen. Während bei dem Kruge zu der Brauſemiſchung in 8 Waſſer zugeſetzt wird, findet dies bei dem Glasapparat nicht ſtatt. Man bringt die Brauſemiſchung trocken in die kleinere Kugel und läßt erſt, nachdem beide Kugeln wieder feſt zuſammengeſchoben ſind, durch bloße Neigung des Apparates das zur Einleitung der Kohlenſäure-Entwickelung nöthige Waſſer aus der oberen Kugel einfließen. Soll das Waſſer die Kohlenſäure nicht gleich beim Ausſtrömen fahren laſſen, ſo muß man den Apparat einige Zeit, 12 bis 24 Stunden, ruhig an einem kühlen Orte oder beſſer noch in Eis oder in einer Kältemiſchung ſtehen laſſen. Ein beſonders ſchön mouſſirendes Getränk erhält man, wenn man den Apparat mehrere Tage ſtehen läßt. Ferner iſt zu empfehlen, die Flüſſigkeit nicht in einem ununterbrochenen Strahle, ſondern in einzelnen Zwiſchenräumen aus dem Apparat abzulaſſen.

Um Unglück abzuwenden, iſt es durchaus nothwendig, daß man ſich jedesmal vor der Beſchickung des Apparates genau davon überzeugen muß, ob die feinen Röhrchen, welche den Durchgang der Kohlenſäure vermitteln, auch offen ſind. Namentlich wenn der Apparat in langer Zeit nicht gebraucht worden iſt, können ſich dieſe feinen Oeffnungen verſtopft haben. Iſt dies der Fall, ſo findet die Kohlenſäure keinen Ausweg und zertrümmert dann den Apparat. Man ſpült daher vor dem jedesmaligen Gebrauch den Apparat recht ſorgfältig mit lauwarmem Waſſer aus und überzeugt ſich genau, ob die Röhrchen offen ſind. Um ein Umherſchleudern der Trümmer zu verhüten, überzieht man den Krug oder die Glaskugeln mit einem Geflecht von Bindfaden, ſpaniſchem Rohr oder Silberdraht.

Für Haushaltungen bietet dieſer Apparat namentlich in der wärmeren Jahreszeit große Annehmlichkeiten, da er zur billigen Bereitung mehrerer äußerſt wohlſchmeckender, erfriſchender, mouſſirender Getränke, wie Limonade gazeuse, Champagner, mouſſirender Maiwein, Grog, Punſch ꝛc. verwendet werden kann. Beſonders gerühmt wird Milch mit Brauſewaſſer verſetzt; auch ſtarkes Bier mit Waſſer und Zucker angeſetzt liefert ein ſehr erfriſchendes Getränk. Beſonders iſt dieſer Apparat ſolchen Perſonen zu empfehlen, denen Bier nicht zuträglich iſt.

Man giebt auch an, daß man ſich dieſer Apparate auch zur Nachbildung der natürlichen Mineralwaſſer mit vorwaltender Kohlenſäure, wie z. B. Emſer Krähnchen, Saidſchützer-, Püllnaer-, Wildunger-, Pyrmonter-Waſſer ꝛc. bedienen könne; aber dazu reichen ſie doch wohl nicht aus. In einem kleineren Maßſtabe ſind ſie jedoch ſehr zu empfehlen, um Arzneien mit Kohlenſäure zu beladen.

Literatur: Duchanoy, Essai d'imiter les eaux min. Paris 1780. Struve, über die Nachbildung der natürlichen Heilquellen. Mit einer Vorrede von Kreyßig. 2 Hefte. Dresden 1824 und 1826. Savaresse, Notice sur la fabrication des eaux minerales gazeuses factices. 3. édit. Paris 1848. Die Struve'ſchen Mineralwaſſeranſtalten. 2. Aufl. Leipzig 1853. W. B.

Molecül, Massentheilchen (von mola, Masse), bedeutet bei manchen Naturforschern so viel als Atom. Versteht man jedoch unter den Atomen die einfachsten, letzten Bestandtheile der Materie, so ist es schicklicher, mit dem Wort Molecül eine Combination solcher Atome zu bezeichnen. Und in diesem Sinne wird wohl auch das Wort am häufigsten gebraucht. Vergl. Art. Materie Bd. IV. S. 939.

Molybdän, ein Metall. Chemisches Zeichen = Mo. Aequivalent = 574,75 (O = 100) oder 45,975 (H = 1). Es kommt in der Natur nur in geringer Menge vor; am häufigsten ist es mit Schwefel verbunden (Molybdänglanz MoS^2). Dann findet es sich auch als molybdänsaures Bleioxyd (Gelbbleierz PbO, MoO^3) und als Molybdänsäure im Molybdänocker, der theils als Ueberzug auf dem Molybdänglanz, aber auch selbstständig als Mineral vorkommt. Der Molybdänglanz hat große Aehnlichkeit mit dem Graphit und ist daher lange Zeit mit diesem verwechselt worden*). Scheele unterschied zuerst 1778**) beide und Hjelm***) stellte zuerst das Metall dar; nach ihm wurde es auch von Buchholz****) isolirt und näher studirt. Am ausführlichsten haben sich besonders Berzelius*****) und Svanberg und Struve†) mit diesem Metall und seinen Verbindungen beschäftigt; ferner Berlin††), Delffi†††), Flückinger††††) und Zencker†††††).

Man stellt das Metall dar, indem man irgend eine Sauerstoffverbindung desselben entweder durch einen Wasserstoffstrom oder in einem Tiegel durch Kohle reducirt. Im erstere Falle erhält man ein graues Pulver, das durch den Polirstahl Metallglanz annimmt. Wendet man bei der Reduction durch Kohle eine hinreichend starke Hitze an, so erhält man geschmolzene Massen, die wie mattes Silber aussehen. Letzteres soll nach Wöhler auch der Fall sein †*), wenn man Molybdänsäure in einem Schiffchen im Wasserstoffstrome glüht. Das auf dieselbe Art aus den Chlorverbindungen dargestellte Metall ist nach Wöhler auf der spiegelnden Fläche hell stahlfarben und besitzt eine gewisse Geschmeidigkeit. Auch durch den galvanischen Strom wird das Molybdän aus seinen Sauerstoffverbindungen abgeschieden. — Specif. Gewicht: 7,4 bis 8,6. In Pulverform nimmt das Metall leicht Sauerstoff auf; so verändert sich das durch Wasserstoff reducirte Metall mit der Zeit an der Luft in braunes Oxyd, während das Metall in zusammenhängenden Massen bei gewöhnlicher Temperatur unverändert blieb. Erhitzt man das Molybdän, so läuft es erst bräunlich-gelb, dann blau an; dann ent-

*) Daher hat das Molybdän auch seinen Namen erhalten: von μολύβδαινα, der griechischen Benennung des Graphits.

**) Opuscula. Tom. I. p. 200.

***) Crell's chemische Annalen. 1790—94.

****) Scheerer's Journ. d. Chem. 1802. Bd. IX. S. 485. Gehler's allg. Journ. d. Chem. 1804. Bd. IV. S. 598.

*****) Schweigger's Journ. Bd. XXII. S. 51, Bd. XXIII. S. 186. Pogg. Ann. Bd. IV. S. 153, Bd. VI. S. 331, Bd. VII. S. 261.

†) Journ. f. prakt. Chemie. Bd. XLIV. S. 257. Bull. de St. Petersb. math. phys. T. XII. p. 142. Pharm. Centralbl. 1854. S. 241.

††) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLIX. S. 444.

†††) Pogg. Ann. Bd. LXXXV. S. 450.

††††) Pogg. Ann. Bd. LXXXVI. S. 594.

†††††) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVIII. S. 257 u. 486.

†*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCIV. S. 255.

zündet es ſich und verbrennt zu Molybdänſäure. Chlorwaſſerſtoffſäure, Fluorwaſſerſtoffſäure und verdünnte Schwefelſäure greifen das Molybdän ſelbſt beim Kochen nicht an; durch Salpeterſäure wird es jedoch ſehr leicht in Molybdänſäure verwandelt.

Man kennt drei Verbindungen des Molybdäns mit Sauerſtoff: das Oxydul MoO, das Oxyd MoO^2 und die Säure MoO^3. Um das Molybdänoxydul zu erhalten, verſetzt man die Auflöſung eines molybdänſauren Alkalis ſo lange mit Chlorwaſſerſtoffſäure, bis die anfangs niedergefallene Molybdänſäure ſich wieder gelöſt hat. Stellt man dann eine Zinkſtange in die Flüſſigkeit, ſo färbt ſich dieſe nach und nach blau, rothbraun und zuletzt ſchwarz. Durch vorſichtiges Zuſetzen von Ammoniak, bis die Flüſſigkeit farblos erſcheint, fällt das Molybdänoxydul nieder. Daſſelbe nimmt ſehr leicht Sauerſtoff aus der Luft auf, daher muß es ſehr ſchnell ausgewaſchen und der Berührung mit der Luft entzogen werden. — Molybdänoxyd bleibt zurück, wenn man molybdänſaures Ammoniak unter dem Zutritt der Luft erhitzt oder wenn man molybdänſaures Alkali mit Salmiak glüht und dann die lösliche Chlorverbindung mit Waſſer auszieht. Aber wahrſcheinlich iſt das auf dieſe Art dargeſtellte Oxyd mit Stickſtoffmolybdän verunreinigt. Es iſt ein kryſtalliniſches Pulver von rothbrauner Farbe. Fällt man die Löſung eines Molybdänoxydſalzes oder Molybdänchlorid mit Ammoniak, ſo fällt Molybdänoxydhydrat nieder, das im äußern Anſehen große Aehnlichkeit mit Eiſenoxydhydrat zeigt. Glüht man daſſelbe im luftleeren Raum, ſo erhält man reines Molybdänoxyd.

Das Oxydul und Oxyd bilden mit den Säuren Salze. Die Oxydulſalze ſind ſchwarz oder purpurroth, die Oxydſalze roth, wenn ſie Kryſtallwaſſer enthalten, und ſchwarz im waſſerfreien Zuſtande. In den Auflöſungen beider Salze entſtehen durch Alkalien braune Niederſchläge, eben ſo auf Zuſatz von kohlenſaurem Alkali, jedoch iſt der Niederſchlag in einem Ueberſchuß von kohlenſaurem Ammoniak wieder löslich. Schwefelwaſſerſtoff bewirkt einen ſchwarzen Niederſchlag und eben ſo Schwefelammonium; ein Ueberſchluß des letzteren macht den Niederſchlag wieder verſchwinden.

Die wichtigſte Verbindung iſt die Molybdänſäure, da ſie die Grundlage für die Darſtellung aller übrigen Verbindungen iſt. Man ſtellt ſie in der Regel dar aus dem Molybdänglanz, der beſonders in Schweden und Böhmen im Granit als Begleiter der Zinnerze vorkommt. Die Bereitung der reinen Säure iſt wegen der Beimengungen, die in dem Mineral vorkommen, umſtändlich. Svanberg und Struve geben für die Gewinnung einer reinen Säure folgende Vorſchrift. Man röſtet unter fortwährendem Umrühren nicht ſehr große Menge des fein gepulverten Molybdänglanzes, bis die ganze Maſſe eine gelbe Farbe angenommen hat. Nach dem Erkalten übergießt man ſie in einer Flaſche mit Ammoniak. Beim Abdampfen der filtrirten Löſung, der man kohlenſaures Kali im Ueberſchuß zugeſetzt hat, ſcheidet ſich ein Theil der Thonerde ab, die durch Filtriren entfernt wird. Man dampft dann bis zur Trockne ab und behandelt den geglühten Rückſtand mit Waſſer. Hier bleibt der Reſt der Thonerde und das Kupferoxyd ungelöſt zurück, während die Löſung neben dem molybdänſauren Kali auch kohlen-, ſchwefel- und phosphorſaures Kali enthält. Die Löſung wird wieder zur Trockne abgedampft, mit Schwefel vermengt und geglüht, bis kein Schwefel mehr entweicht. Um die aus dem natürlichen Schwefelmolybdän herrührende Phosphorſäure und den über-

ſchüſſigen Schwefel zu entfernen, behandelt man die Maſſe wiederholt mit heißem Waſſer und kohlenſaurem Kali, bis Säuren aus dem heiß abfiltrirten Waſſer keinen Schwefel mehr niederſchlagen oder Schwefelwaſſerſtoff entwickeln. Man hat nun wieder Schwefelmolybdän von rein ſchwarzer Farbe, das weiter mit heißem ſalzſäurehaltigem Waſſer ausgewaſchen und dann durch Salpeterſäure oxydirt wird. — Aus Böhmen kann man von Franz Hokenia's Erben zu Kleiberg ziemlich reine Molybdänſäure käuflich beziehen.

Für techniſche Zwecke bereitet man die Molybdänſäure nach Chriſtl *) auf folgende Weiſe; Man ſchmilzt gleiche Theile feingepulvertes Gelbbleierz und calcinirte Soda. Aus der geſchmolzenen Maſſe zieht man das molybdänſaure Natron mit heißem Waſſer aus und kocht die Löſung mit überſchüſſiger Salzſäure, bis ſich die Molybdänſäure als ſchön hellgelber Niederſchlag ausgeſchieden hat. Die Ausbeute beträgt ungefähr den dritten Theil des Gewichtes vom angewandten Erz. Karrer **) ſchlägt vor dieſe Säure in der Färberei und Zeugdruckerei zu verwenden. Seide mit molybdänſaurem Ammoniak imprägnirt, nach dem Trocknen in einem ſalzſauren Bade durchgenommen und dann unmittelbar in ein Zinnchlorürbad gebracht, wurde intenſiv dunkelblau gefärbt. Durch Verdünnen des molybdänſauren Ammoniaks mit Flußwaſſer konnten die verſchiedenen helleren Töne bis herab zu einem ſchönen bläulich Hellaſchgrau und Perlgrau hergeſtellt werden. Alle dieſe Töne erſcheinen dem Auge ſehr gefällig und dürften bald ſehr beliebt werden, zumal ſie ſich durch eine außerordentliche Dauerhaftigkeit gegen Luft und Licht auszeichnen. Die Molybdänfarben verdienen daher in der Seidenfärberei die größte Beachtung und werden ſich hoffentlich bald allgemeiner Anerkennung zu erfreuen haben. Beſchränkter iſt ihre Verwendung beim Färben baumwollener Gewebe; noch geringer iſt die Verwandtſchaft der Molybdänfarben zur Flachsfaſer.

Merkwürdig iſt das Verhalten der Molybdänſäure zu Phosphorſäure. Nach Svanberg und Struve ſcheint erſtere durch letztere in eine andere Modification übergeführt zu werden. In der Wärme färbt ſich eine Löſung der Molybdänſäure bei Gegenwart von Phosphorſäure citronengelb. In Folge dieſer Eigenſchaft bietet ſich uns in der Molybdänſäure ein ſehr empfindliches Reagens auf Phosphorſäure, mit deſſen Hülfe es gelungen iſt, in den verſchiedenſten Mineralien Phosphorſäure nachzuweiſen, wo dieſe durch die ſonſt gebräuchlichen Mittel nicht nachgewieſen werden konnte. H. Roſe hat ferner darauf hingewieſen, daß ſich die Arſenſäure ähnlich verhalte. Struve ſchlägt nun vor ***), dieſes Verhalten des molybdänſauren Ammoniaks bei gerichtlich-chemiſchen Unterſuchungen anzuwenden, wo es ſich darum handelt, die Gegenwart von Arſen nachzuweiſen. Entweder kann man dadurch die durch den Marſh'ſchen Apparat erhaltenen Flecke als von Arſen herrührende erkennen, oder das Arſen aus den verdächtigen Subſtanzen leicht als ſolche Verbindung abſcheiden, die nachher in dem Marſh'ſchen Apparate geprüft werden kann. Durch Arſenſäure wird der gelbe Niederſchlag ſchon in der Kälte hervorgerufen. Vermengt man denſelben mit Kohle und erhitzt in einem Glasröhrchen, ſo ſublimirt metalliſches Arſen; der gelbe Niederſchlag

*) Polytechn. Centralbl. 1853. S. 64.
**) Polytechn. Centralbl. 1853. S. 1312.
***) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVIII. S. 493.

entſteht beim Erwärmen noch in Löſungen, die $^1/_{20000}$ Arſenſäure enthalten. Umgekehrt iſt auch die Phosphorſäure ein vortreffliches Reagens auf Molybdänſäure. W. B.

Monat (lat. mensis; franz. mois; engl. month) heißt urſprünglich die Zeit, während welcher der Mond den Wechſel ſeiner verſchiedenen Erſcheinungen (Phaſen) einmal vollendet, oder — was der Zeit nach ziemlich damit übereinſtimmt — einen Umlauf um den ganzen Himmel zurücklegt. Hierbei lag noch keine ſorgfältige Zeitbeſtimmung zu Grunde, ſondern ſelbſt eine oberflächliche Beobachtung veranlaßte dieſe Periode beſonders zu bezeichnen. Längere Zeit fortgeſetzte genaue Beobachtungen zeigten indeſſen, daß man durch die verſchiedenen Mittel, die Periode des Mondumlaufes zu beſtimmen, zu verſchiedenen Zeitbeſtimmungen kommt, und dies gab Veranlaſſung, verſchiedene Arten des Monats zu unterſcheiden. Keine dieſer Zeitbeſtimmungen läßt ſich übrigens mit völliger Genauigkeit geben, oder als eine conſtante Größe anſehen, weil der Monat jeder Art wegen der Mondungleichheiten (ſ. Art. Mond) bald etwas länger, bald etwas kürzer iſt. Es werden nun folgende Monate unterſchieden:

1) Der ſideriſche Monat iſt die Zeit, welche vergeht, bis (unter der Vorausſetzung, daß die Erde feſtſteht) der Mond, von einem beſtimmten Fixſterne ausgegangen, zu demſelben zurückkehrt. Die mittlere Länge iſt 27 T. 7 St. 43 Min. 11,5104 Sec.

2) Der periodiſche oder tropiſche Monat iſt die Umlaufszeit des Mondes von dem Frühlingspunkte bis wieder zu demſelben. Wegen des ſogenannten Vorrückens der Nachtgleichen (ſ. Art Nachtgleichen), welches monatlich ungefähr 4 Sec. beträgt, iſt dieſer Monat kürzer als der vorige, und ſeine mittlere Länge = 27 T. 7 St. 43 M. 4,6848 Sec.

3) Der ſynodiſche Monat iſt die Zeit von einem Neumonde bis zum nächſten, oder von einem Vollmonde bis zum nächſten; die Länge deſſelben iſt mithin von der Stellung des Mondes gegen die Sonne abhängig, und da während eines Mondumlaufes die Sonne ſelbſt (ſcheinbar) fortgerückt iſt, ſo braucht der Mond über zwei Tage Zeit mehr, als beim ſideriſchen Monate, um zu demſelben Stande gegen die Sonne zurückzukehren. Die mittlere Länge des ſynodiſchen Monats beträgt 29 T. 12 St. 44 M. 2,7168 Sec. Man kann dieſelbe aus dem ſideriſchen Monate berechnen, oder unmittelbar finden, wie es ſchon in frühen Zeiten geſchehen iſt, aus zwei weit auseinander liegenden Mondfinſterniſſen, indem man die zwiſchen denſelben verſtrichene Zeit durch die Anzahl der ſeitdem ſtattgehabten Mondumläufe dividirt.

4) Der Knotenmonat oder Drachenmonat (ſ. Art. Knoten) oder draconitiſche Monat iſt die Zeit, welche vergeht, bis der Mond wieder zu ſeinem aufſteigenden Knoten zurückkehrt. Da die Mondknoten monatlich ungefähr $1^1/_2{}^0$, alſo ſchneller als die Nachtgleichen vorrücken, ſo iſt dieſer Monat auch kürzer als der tropiſche und hat nur eine mittlere Länge von 27 T. 5 St. 5 M. 28,90 Sec.

5) Der anomaliſtiſche Monat umfaßt die Zeit zwiſchen zwei auf einander folgenden Stellungen des Mondes in der Erdnähe. Der Mond ſteht alsdann in der großen Axe ſeiner Bahn, und da dieſe keine rück-, ſondern eine rechtläufige Bewegung hat, die in einem tropiſchen Monate über 3° beträgt, ſo iſt derſelbe auch länger als dieſer und beträgt im Mittel 27 T. 13 St. 21 M. 3,36 Sec.

6) Der Sonnenmonat ist der zwölfte Theil des tropischen Sonnenjahres, weil während dieser Zeit ungefähr 12 Mondumläufe stattfinden. Es giebt also der Sonnenmonat die Zeit an, während welcher die Sonne in jedem ihrer 12 Zeichen verweilt, und die Länge desselben ist mithin 30 T. 10 St. 29 M. 3,984 Sec.

Alle diese Bestimmungen der Monatslänge sind Resultate astronomischer Beobachtungen und Berechnungen. Man hat aber im bürgerlichen Leben die Sonnenjahre bekanntlich in 12 Monate getheilt, welche ungleiche Länge haben, und unterscheidet demnach von den astronomischen Monaten noch die bürgerlichen Monate. Ueber diese Monate ist Art. Jahr Bd. IV. S. 1 und Artikel Kalender Bd. IV. S. 188 zu vergleichen; hier wollen wir jedoch noch die ächt altdeutschen Namen, welche Carl der Große vorgeschlagen haben soll, anführen; Wintermond, Hornung, Lenzmond, Ostermond, Wonnemond, Brachmond, Heumond, Erntemond, Herbstmond, Weinmond, Windmond, Heilmond. Die Monate des Kalenders der französischen Republik, welcher vom 22. Septbr. 1792 bis zum 9. Septbr. 1805 in Frankreich Geltung hatte, hießen: Vendemiaire (22. Septbr. bis 21. Octbr.), Brumaire (22. Octbr. bis 20. Novbr.), Frimaire (21. Novbr. bis 20. Dcbr.), Nivose (21. Dcbr. bis 19. Jan.), Pluviose (20. Jan. bis 18. Febr.), Ventose (19. Febr. bis 20. März), Germinal (21. März bis 19. April), Floreal (20. April bis 19. Mai), Prairial (20. Mai bis 18. Juni), Messidor (19. Juni bis 18. Juli), Thermidor (19. Juli bis 17. Aug.), Fructidor (18. Aug. bis 21. Septbr.). — Bei den alten Griechen hießen die Monate: Gamelion (— 10. Januar — 6. Februar, der Reihe nach der 7. Monat), Anthesterion, Elaphebolion, Munychion, Thargelion, Skirophorion, Hekatombäon, Metageitnion, Boëdromion, Pyanepsion, Mämakterion und Poseideon. — Die Monate der Juden, welche 12 Monate und in Schaltjahren 13 Monate haben, heißen: Tischri (fällt zum Theil in den September und October), Marcheswan, Kislaw, Tebeth, Schwat, Adar, W'Adar, Nisan, Ijar, Sivan, Thamuz, Ab, Elul. — Bei den Türken, welche ein Mondenjahr haben, heißen die Monate: Muharrem, Safer, Rabiulewel, Rebiulachir, Dschemasiulewel, Dschemasiulachir, Redscheb, Schaban, Ramasan, Schewal, Silkide, Silhidscha; die Monate haben abwechselnd 30 und 29 Tage, der letzte im Schaltjahre aber ebenfalls 30. In dem 30jährigen Cyklus, welchen die Türken haben, sind nämlich folgende Jahre stets Schaltjahre: 2, 5, 7, 10, 13, 15, 18, 21, 24, 26 und 29.

Endlich sind noch zu erwähnen die Erleuchtungsmonate, welche von der ersten Wiedererscheinung des Mondes nach dem Neumonde bis zur nächstfolgenden Wiedererscheinung gerechnet werden. H. E.

Mond (lat. luna; franz. lune; engl. moon) heißt der Weltkörper, welcher die Erde, während sie ihren Lauf um die Sonne verfolgt, begleitet. Betrachtet man die Erde als feststehend, so ist die Bahn des Mondes um dieselbe eine Ellipse, in deren einem Brennpunkte die Erde steht. Die halbe große Axe dieser Ellipse oder die mittlere Entfernung des Mondes von der Erde beträgt, da für einen Beobachter im Aequator die Horizontalparallaxe (s. d. Art. Parallaxe) in der mittleren Entfernung 57′ 34″,2 (— sie schwankt zwischen 54 und 61 Minuten —)

iſt, 51315 geogr. Meilen, zu 859,3 auf den Halbmeſſer des Aequators gerechnet, und die Excentricität derſelben 0,054844 der halben großen Axe oder 2814,3 geogr. Meilen. Da die Erde aber nicht ſtill ſteht, ſondern den Mond auf ihrer Reiſe um die Sonne mit ſich zieht, ſo entſteht durch dieſe doppelte Bewegung als Bahn des Mondes um die Sonne eine große Spiral- oder Schlangenlinie, die ungefähr in der Mitte ihrer Windungen von der Erdbahn geſchnitten wird. Man kann dieſe Mondbahn mit einer in 12 bis 13 Knoten zuſammengeſchlungenen Schnur vergleichen, deren Knoten aber, weil ſie mit der jährlichen Schnur kein gemeinſchaftliches Maß haben, ſelbſt nach vielen tauſend Jahren nicht wieder auf dieſelbe Stelle fallen, ſo daß dadurch die Mondbewegung zu einer ſehr verwickelten wird.

Wenn der Mond ſich in ſeiner mittleren Entfernung von der Erde befindet, wo alſo die Horizontalparallaxe 57′ 34″,2 beträgt, ſo erſcheint uns der Halbmeſſer deſſelben unter einem Winkel von 15′ 43″,3. Hieraus ergiebt ſich der Halbmeſſer des Mondes = 234,675 (nach Mädler = 234,2) geogr. Meilen. Der Halbmeſſer des Mondes erſcheint unter 14′ 41″ bis 16′ 45″, und kann alſo im Durchſchnitt zu $^1/_2$ Grad angenommen werden. Burkhardt fand aus Meridianbeobachtungen den mittleren Mondhalbmeſſer = 15′ 13″,95, Ferber aus Sonnenfinſterniſſen und Sternbedeckungen = 15′ 31″,68; Wichmann giebt 15′ 33″,01 an. Nehmen wir nach Mädler den Monddurchmeſſer = 468,5 geogr. Meilen, ſo ergiebt ſich der Umfang des Mondes = 1470,5 geogr. Meilen, die Oberfläche = 689240 geogr. Quadratmeilen und das Volumen = 53806000 Cubikmeilen. Im Vergleich zur Erde erhalten wir alſo Verhältniſſe vom Monde zur Erde für

die Durchmeſſer	1 :	3,67,
die Oberflächen	1 :	13,44,
das Volumen	1 :	49,25,

ſo daß erſt $49^1/_4$ Mondkugeln zu einer vereint eine Kugel von der Größe der Erde geben würden. Hieraus folgt jedoch nicht, daß die Mondmaſſe auch 49,25 Mal kleiner iſt, als die der Erde, ſondern, da derſelbe eine geringere Dichtigkeit beſitzt, ſo daß er nur $^1/_{88}$ der Erdmaſſe hält, ſo würden 88 Mondkugeln erforderlich ſein, um eine Kugel von dem Gewichte der Erdkugel zu liefern. Setzen wir das ſpecifiſche Gewicht der Erde = 5,44 (ſ. Art. Erde Bd. II. S. 907 ff.), ſo ergiebt ſich für den Mond ein Gewicht von ungefähr 1477 Trillionen Centnern. Iſt die Dichte der Erde = 1, ſo iſt die des Mondes = 0,5614; iſt nun der Fallraum in der erſten Secunde auf der Erde = 15,11 Par. Fuß, ſo würde dieſer auf dem Monde 2,314 Par. Fuß ſein, ſo daß die Schwere hier etwa $6^1/_2$ Mal kleiner als auf der Erde wäre. Hierbei liegt Lindenau's Angabe für die Mondmaſſe $\frac{1}{88}\left(\text{genauer } \frac{1}{87{,}73}\right)$ zu Grunde; nimmt man Peter's Reſultat, welches derſelbe aus der Nutationsconſtante gefolgert hat *), nämlich $\frac{1}{81{,}5}$, ſo würde die mittlere Dichtigkeit des Mondes = 0,60429 von der der

*) Encke's Jahrbuch. 1836. S. 301.

Erde ſein, der Fallraum in der erſten Secunde ſich = 2,49 Par. Fuß ergeben, und alſo die Schwere auf dem Monde $\frac{1}{6,05}$ von der auf der Erde ſein.

Die mittlere Geſchwindigkeit des Mondes in ſeiner Bahn um die Erde iſt 0,13 Meilen oder = 3046 Par. Fuß, während die der Erde in ihrer Bahn um die Sonne 4,1 geogr. Meilen oder 93660 Par. Fuß beträgt. Die Zeit eines Mondumlaufes von einem Fixſterne aus bis wieder zu demſelben nennt man, wenn man die Erde als feſtſtehend betrachtet, den ſideriſchen Umlauf oder den ſideriſchen Monat. Seine Länge beträgt 27 Tage 7 St. 43 Min. 11,5 Sec. (ſ. Art. Monat). Da die Erde ſich jedoch bewegt, ſo iſt dieſer Monat nicht die Zeit, welche bis zur Rückkehr zu demſelben Fixſterne, von der währenddem fortgerückten Erde aus geſehen, vergeht. Dieſe Zeit heißt der ſynodiſche Monat, deſſen Länge 29 Tage 12 St. 44 M. 2,7 Sec. beträgt (ſ. Art. Monat).

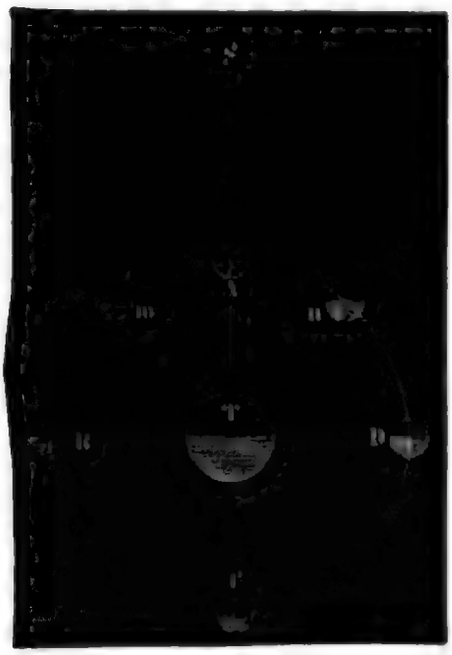
Außer der Bewegung um die Erde hat der Mond noch eine zweite Bewegung, nämlich um ſeine Axe. Jene kann man — nach Analogie der Erdbewegung — die jährliche, dieſe die tägliche Bewegung des Mondes nennen. Während aber bei der Erde beide Bewegungen von verſchiedener Dauer ſind, die jährliche über 365 Mal länger als die tägliche iſt, ſind beide bei dem Monde vollkommen gleich, d. h. während der Mond einmal um die Erde herumgeht, bewegt er ſich zugleich einmal um ſeine Axe. Dies wiſſen wir daher, weil die genaue Betrachtung der Oberfläche des Mondes, in Bezug auf die ſich auf derſelben zeigenden Flecke, zeigt, daß der Mond uns ſtets genau dieſelbe Seite zuwendet, da eben dieſe Mondflecken uns ſtets genau an derſelben Stelle erſcheinen. Es iſt als ob der Mond mit der Erde gleichſam durch eine Stange unverrückbar verbunden wäre, welche durch die Mittelpunkte beider Körper ginge. Auch die Trabanten der übrigen Planeten zeigen ein gleiches Verhältniß zu den Planeten, zu welchen ſie gehören. Stünde die Erde feſt, ſo würden wir aus dieſer Erſcheinung folgern müſſen, daß der Mond gar keine Axendrehung habe. Ein Beobachter auf der Sonne z. B. wird aber den Mond ſich gleichzeitig einmal um die Erde und einmal um ſeine Axe bewegen ſehen *).

Weil der Mond unter allen Himmelskörpern der Erde am nächſten ſteht, ſo zeichnet er ſich ungeachtet ſeiner Kleinheit vor allen übrigen durch ſeine ſcheinbare Größe aus. Von der Sonne aus geſehen würde die Erde als eine kleine Scheibe ſich darſtellen, und der Mond als ein kleines Fünkchen neben derſelben erſcheinen. Auffallend iſt die ſcheinbare Vergrößerung des im Horizonte ſtehenden Mondes im Vergleich zu ſeiner Größe bei höherem Stande. Es erklärt ſich dieſe Erſcheinung dadurch, daß wir unwillkürlich die uns, wenn auch nur annähernd, bekannte

*) Man denke ſich einen Saal, in deſſen Mitte ein Kronleuchter hängt; geht man um dieſes Centrum herum, ſo daß man dem Leuchter ſtets das Geſicht zuwendet, ſo dreht man ſich unmerklich in einem Umgange einmal um ſich ſelbſt herum. Eben ſo iſt es, wenn man um dieſen Kronleuchter herumwalzt und die einzelnen Umdrehungen dann zählen wollte, wenn man dem Leuchter gerade das Geſicht zuwendet. Würde man rechts herum walzend 365 Umdrehungen gezählt haben, ſo hat man in Wahrheit doch deren nur 364 gemacht, und würde man links herum walzend eben ſo 365 gezählt haben, ſo hat man umgekehrt 366 vollendet. Wegen der Anwendung auf die Rotation der Erde und ihren Lauf um die Sonne habe ich gerade die Zahl 365 gewählt.

Größe der in der Nachbarſchaft des Mondes am Horizonte befindlichen Gegenſtände auf den Durchmeſſer des Mondes übertragen. Desbalb verſchwindet dieſe ſcheinbare Vergrößerung, ſobald uns keine Gegenſtände zur Vergleichung in der Nähe des Mondes gegeben ſind, alſo bei hoher Stellung deſſelben oder beim Aufgehen oder Untergehen am ruhigen Meereshorizonte, oder beim Durchſehen durch ein Rohr.

Noch auffallender, als durch ſeine bedeutende ſcheinbare Größe iſt der Mond durch die wechſelnde Geſtalt, in welcher er uns erſcheint. Dieſe regelmäßig wechſelnden Lichtgeſtalten des Mondes werden ſeine Phaſen (v. d. griech. φάσις, Erſcheinung) genannt. Die Erklärung der Phaſen wird dem Anaximander zugeſchrieben und Ariſtoteles *) kannte ſie auch. Die Urſache derſelben iſt der Umſtand, daß der Mond nicht ein ſelbſtleuchtender Körper iſt, ſondern das Licht, welches er uns zuſendet, und welches ihn ſichtbar macht, von der Sonne entlehnt. Der Mond wird nämlich von der Sonne beleuchtet und, wie dieſes natürlich, ſtets nur auf derjenigen Seite, welche er der Sonne zukehrt. Bezeichnet nun in beiſtehender Figur T die Erde, S die in ſehr großer Entfernung von ihr ſtehende Sonne und A B C D die Bahn des Mondes um die Erde, ſo iſt klar, daß wenn ſich der Mond zwiſchen Sonne und Erde befindet, alſo bei A, ſo wird die der Erde abgewendete Seite deſſelben beleuchtet, die der Erde zugekehrte Seite dagegen iſt dunkel. Zugleich überſieht man leicht, wie der Mond (wenn wir uns die Erde um ihre Axe bewegt denken) mit der Sonne bei dieſer Stellung zugleich auf und untergeht. Die Zeit, wo ſich der Mond in dieſer Stellung befindet, heißt Neumond, und während derſelben erblicken wir den Mond gar nicht. Einige Tage nach dem Neumonde erſcheint der vorher bei der Sonne ſtehende Mond links oder öſtlich von derſelben. Da ſeine ganze Umlaufszeit (der ſynodiſche Monat) $29^1/_2$ Tag beträgt, ſo wird er z. B. in $3^3/_4$ Tagen ſchon ein Achtel ſeines ganzen Umlaufes zurückgelegt haben, und ſich folglich im Punkte m ſeiner Bahn befinden. In dieſer Stellung werden wir einen Theil ſeiner beleuchteten Seite erblicken, und ſo wird der am Himmel ſichtbare Mond die Geſtalt einer von der Sonne abgekehrten Sichel haben, oder als ein umgewendetes C erſcheinen. Da er ſich links von der Sonne befindet, ſo muß er kurz nach der Sonne aufgehen und bald nach der Sonne untergehen. Nach Verlauf von $7^2/_5$ Tagen nach dem Neumonde hat der Mond $^1/_4$ ſeiner Bahn zurückgelegt und befindet ſich bei B; bis dahin hat der Mond täglich zugenommen, d. h. ſeine der Sonne zugekehrte und von ihr beleuchtete Seite iſt immer mehr ſichtbar geworden. In der Stellung bei B ſagt man, der Mond habe ſeine erſte Quadratur oder ſein erſtes Viertel erreicht. Er hat nun die Geſtalt einer



*) Probl. T. XV.

leuchtenden halben Kreisfläche, welche den Durchmeſſer auf der von der Sonne abgekehrten Seite hat. Da hier der Mond genau um 90° von der Sonne auf der Oſtſeite derſelben abſteht, ſo wird er in ſeinem erſten Viertel 6 Stunden nach Sonnenaufgang, d. h. nahe um Mittag aufgehen, und 6 Stunden nach ihr, d. h. um Mitternacht untergehen. Nach Verlauf von abermals $7^3/_5$ Tagen befindet ſich der Mond bei C, nach Zurücklegung der Hälfte ſeiner Bahn. Jetzt kehrt er der Erde ſeine ganze beleuchtete Hälfte zu, es iſt Vollmond und der Mond hat die Geſtalt einer leuchtenden Scheibe. Der Sonne ſteht der Mond gerade gegenüber (in Oppoſition) und geht daher auf, wenn jene untergeht, und unter, wenn jene aufgeht. Von nun an nimmt der Mond wieder ab und zwar auf derjenigen Seite, welche nach dem Neumonde zuerſt erſchienen war. Bei D iſt die ganze rechte Seite verdunkelt, er hat wieder die Geſtalt einer Halbſcheibe, geht um Mitternacht auf und um Mittag unter und befindet ſich im letzten Viertel oder in der zweiten Quadratur, 90° von der Sonne. Von hier ab wird nun der Mond immer kleiner, nimmt immer mehr die Geſtalt eines C an oder einer Sichel, geht immer mehr gegen den Morgen zu auf, und verſchwindet endlich wieder bei der Sonne in A. Es iſt wieder Neumond und der Lichtwechſel beginnt aufs Neue den beſchriebenen Kreislauf.

Aus der Beobachtung der Figur geht hervor, daß die Erde, ein gleichfalls dunkler, von der Sonne erleuchteter Körper, vom Monde aus betrachtet ebenfalls Phaſen zeigen müſſe. Zur Zeit, wenn wir Neumond haben, werden die Mondbewohner die Erde als glänzende volle Scheibe erblicken, von da wird die Scheibe abnehmen, zur Zeit des erſten Viertels als Halbſcheibe, zur Zeit des Vollmondes gar nicht und zur Zeit des letzten Viertels als zunehmende Halbſcheibe erſcheinen.

Während der Mond kurz vor und nach dem Neumonde als eine dünne Sichel am Himmel ſteht, kann man mit ſcharfen Augen und durch Fernröhre auch den übrigen nicht erleuchteten Theil des Mondes erblicken, aber derſelbe ſchimmert nur in einem ſehr ſchwachen Lichte, welches immer ſchwächer wird, je näher der Mond der Quadratur kommt. Dieſes Licht wird als aſchgraues bezeichnet. Dieſes Licht rührt von der Erde her: iſt Erdenlicht im Monde, der Wiederſchein eines Wiederſcheins *). Je weniger der Mond für die Erde erleuchtet erſcheint, deſto mehr iſt die Erde erleuchtend für den Mond. Unſer Planet beſcheint aber den Mond $13^1/_2$ Mal ſtärker, als der Mond ſeinerſeits ihn erleuchtet; und dieſer Schein iſt hell genug, um durch abermalige Reflexion von uns wahrgenommen zu werden. Seit Lambert und Schröter iſt die Meinung herrſchend geworden, daß die verſchiedene Intenſität des aſchgrauen Lichtes des Mondes von dem ſtärkeren oder ſchwächeren Reflex des Sonnenlichtes herrührt, das auf die Erdkugel fällt: je nachdem daſſelbe von zuſammenhängenden Continentalmaſſen voll Sandwüſten, Grasſteppen, tropiſcher Waldung und ödem Felsboden, oder von großen oceaniſchen Flächen zurückgeworfen wird. Ueberdies modificirt dieſe Intenſität des Erdlichtes der meteorologiſche Zuſtand unſerer Atmoſphäre. Schon Leonardo da Vinci **), Galilei ***) und Kepler's Lehrer Mäſt-

*) Humboldt's Kosmos. Bd. III. S. 497.
**) Venturi, Essai sur les ouvrages de Léonard de Vinci. 1797. p. 11.
***) Sidereus Nuncius. p. 26.

lin *) kannten die wahre Urſache des aſchfarbigen Lichtes. Leslie und Pl. Heinrich **) halten es auch für möglich, daß der Mond durch Inſolation von den Sonnenſtrahlen ſelbſt leuchte, welches ſchwache Licht wir um ſo beſſer wahrnehmen müßten, je geringer der helle leuchtende Theil des Mondes wäre.

Betrachtet man den Mond zur Zeit, wo die im aſchfarbenen Lichte ſichtbare Scheibe deſſelben auf der einen Seite von der hellen Sichel umſpannt wird, ſo ſcheint die letztere ein Theil einer Scheibe von einem größeren Durchmeſſer zu ſein, als die aſchgraue Scheibe. Der Grund hiervon liegt in der Irradiation, worüber Art. Irradiation Bd. IV. S. 127 (S. 128 iſt auch der vorliegende Fall erwähnt) nachzuſehen iſt.

Die oben gemachte Behauptung, daß der Mond der Erde immer dieſelbe Seite zukehre, muß noch etwas modificirt werden. Genauere und längere Zeit fortgeſetzte Beobachtungen der Mondflecken haben gezeigt, daß ſich dieſe nicht ſtets in demſelben Abſtande von dem Rande oder dem Mittelpunkte der Mondſcheibe zeigen. Eine Stelle des Mondes nehme zur Zeit des Vollmondes genau die Mitte der Mondſcheibe ein; im letzten Viertel iſt dies nicht mehr der Fall, ſondern dieſelbe liegt z. B. mehr öſtlich. Dieſelbe Stelle nähert ſich dann wieder der Mitte und geht dann auf die andere, alſo weſtliche Seite von derſelben. Flecken am Mondrande nähern ſich demſelben oder entfernen ſich mehr, verſchwinden wohl gar und erſcheinen nach einiger Zeit wieder. Der Mond ſcheint hiernach eine Schwankung ungefähr in der Richtung von Oſten nach Weſten zu machen. Dies iſt aber nicht das Einzige; auch in der Richtung von Süden nach Norden zeigen ſich ähnliche Veränderungen. Jene Erſcheinung bezeichnet man als eine Schwankung oder (lat.) Libration in Länge, dieſe als eine ſolche in Breite. Die erſtere Libration hat ihren Grund darin, daß die Bahn des Mondes um die Erde eine Ellipſe iſt, und derſelbe ſich folglich mit ungleichförmiger Winkelgeſchwindigkeit in ſeiner Bahn bewegt, während ſeine Umdrehung um die Axe mit völlig gleichbleibender Winkelgeſchwindigkeit erfolgt. Die andere Libration hat ihren Urſprung in dem Umſtande, daß der Mond nicht ſenkrecht auf ſeiner Bahn ſteht, ſondern nach Nicollet und Bouvard ***) 1° 28′ 47″ und nach Wichmann ****) 1° 32′ 9″, alſo im Mittel $1^1/_2$ Grad, mit ſeinem Aequator gegen die Bahn der Erde oder die Ekliptik conſtant geneigt iſt. Ueberdies iſt die Mondbahn gegen die Ekliptik um 5° (genauer 5° 8′ 47″,9) geneigt, ſo daß die Bahn des Mondes um die Erde gegen den Aequator deſſelben im Mittel $6^1/_2$ Grad Neigung hat. Steht nun der Mond z. B. 5° nördlich von der Ekliptik, ſo ſehen wir über ſeinen Südpol hinaus und blicken noch in die jenſeitige Mondhälfte, d. h. alle ſüdlich liegende Flecken des Mondes haben ihren ſcheinbaren Abſtand von dem Rande vergrößert, die nördlich liegenden denſelben verkleinert. Umgekehrt iſt es natürlich, wenn der Mond 5° ſüdlich von der Ekliptik ſteht. Die Geſammtwirkung dieſer beiden Librationen nennt man die allgemeine Libration. Die Verſchiebung einer Stelle, welche in 40° Breite liegt, kann nach Mädler bis auf

*) Ad Vitellionem Paralipomena, quibus Astronomiae pars optica traditur. 1604. p. 234.

**) Vergl. Art. Licht. Bd. IV. S. 496.

***) S. Mädler's unten angeführtes Werk. S. 11.

****) Aſtron. Nachr. Nr. 631. S. 97.

10° 24′ geben. Eine dritte Libration iſt die parallaktiſche, die darin beruht, daß zwei Beobachter an verſchiedenen Stellen der Erde, von denen z. B. der eine im Aequator, der andere weit ab davon ſteht, gleichzeitig nicht daſſelbe Profil der Mondſcheibe haben können. Da der Mond der Erde ſo nahe iſt, ſo iſt hier auch die Parallaxe nothwendig von Einfluß. Eine vierte, bis jetzt eigentlich nur theoretiſch bekannte, Libration iſt die phyſiſche, die darin begründet iſt, daß wir auf der Oberfläche der Erde ſchon nicht mehr genau dieſelbe Seite der Mondkugel erblicken, welche wir von dem Mittelpunkte der Erde aus ſehen würden.

Da der Mondäquator mit der Ekliptik nur den unbedeutenden Winkel $1^1/_2{}^0$ macht, ſo kann auf dem Monde faſt gar kein Unterſchied der Jahreszeiten ſtattfinden *), eben ſo werden die Temperatur, die Länge der Tage und Nächte ſich ſtets faſt gleich bleiben müſſen. Die heiße Zone würde auf dem Monde nur 3 Grade oder 12 bis 13 Meilen Breite einnehmen, eben dieſen Durchmeſſer würde die kalte Zone haben. Begreift man unter Tag die Zeit von einem Sonnenaufgange bis zum andern, ſo folgt aus der Bewegung des Mondes, daß ein Tag auf dem Monde $29^1/_2$ Mal ſo lange als ein Tag auf der Erde dauern muß, oder daß die Mondbewohner die Sonne $14^3/_4$ unſerer Tage über und eben ſo lange dieſelbe unter dem Horizonte haben müſſen. Auf der einen Hälfte des Mondes ſteht während dieſer langen Nacht die Erde am Himmel und zeigt nach einander ihre verſchiedenen Phaſen, und zwar ſo, daß, wenn wir auf der Erde Neumond haben, die Mondbewohner Vollerde hätten, und wenn für uns Vollmond iſt, dort Neuerde wäre.

Wenn wir hier der Mondbewohner erwähnen, ſo ſind darunter keine Weſen zu verſtehen, wie die Menſchen auf der Erde. Hierfür giebt es viele Gründe. Schon aus der Schwere, welche — wie wir oben geſehen haben — auf dem Monde ungefähr 6 Mal kleiner iſt als auf der Erde, folgt, daß die lebenden Weſen auf dem Monde ganz anders beſchaffen ſein müſſen, als die auf der Erde, weil hierdurch die Wirkung auf jeden Organismus in Hinſicht der Fähigkeit, ſich zu bewegen, ſich durch Wachsthum zu vergrößern, überhaupt irgend welche Kräfte zu verwenden, eine weſentliche Veränderung erleidet. Hierzu kommt noch, daß der Mond keine Atmoſphäre und demnach auch kein Waſſer hat, wie die Erde, worüber Art. Atmoſphäre Bd. I. S. 561 nachzuſehen iſt **). Es iſt wohl möglich, daß auf dem Monde auch belebte Weſen ſind; anders als die auf der Erde müſſen ſie indeſſen jedenfalls ſein. Daß gerade vernünftige Weſen daſelbſt ſein müſſen, ſcheint mir nicht nothwendig zu ſein, da die geologiſchen Studien ergeben haben, daß auf der Erde Millionen Jahre lang deren ebenfalls keine vorhanden geweſen ſind. In neueſter Zeit iſt dieſe Frage pro und contra von den beiden Engländern Whawell und Brewſter ventilirt worden ***).

Die Mondphaſen geben ein einfaches Mittel, um die Entfernung der Sonne zu berechnen. In dem Augenblicke nämlich, wo der Mond in die Quadratur tritt, iſt ein Dreieck, welches man ſich von der Sonne durch Mond und Erde gelegt

---

*) Vergl. Art. Jahreszeiten. Bd. IV. S. 6 u. Art. Erde. Bd. II. S. 904.

**) Beſſel in aſtron. Nachr. Bd. XI. S. 411 und Mädler S. 133 u. 152.

***) Vergleiche wegen des Näheren die Grenzboten und zwar die erſten Hefte von 1856.

denkt, ſo daß jedes dieſer Geſtirne an einem Winkelpunkte des Dreiecks ſteht, rechtwinklich; der rechte Winkel iſt beim Monde. In dieſem Dreiecke iſt überdies eine Seite bekannt, nämlich die Entfernung der Erde vom Monde, und außer dem rechten noch ein Winkel, nämlich der, den das Dreieck bei der Erde macht. Hieraus kann man dann die Entfernung der Sonne von der Erde und von dem Monde leicht berechnen. Das Eintreten des Mondes in die Quadratur erkennt man durch directe Beobachtung des Mondes; denn in dem Augenblicke, wo es erfolgt, geht die vorher eingebogene Linie der einen Seite der Halbſcheibe in eine gerade über, in einen Durchmeſſer des Mondes.

Schon Eingangs dieſes Artikels iſt erwähnt worden, daß die Mondknoten nicht wieder auf dieſelbe Stelle treffen. Die Länge des Mondknotens nimmt in Bezug auf die Fixſterne in 365 Tagen um 19°,3426 ab, d. h. die Knoten gehen in jedem gemeinen Jahre in der Ekliptik um einen ſo großen Winkel rückwärts. Der ſideriſche Umlauf der Knoten erfolgt hiernach in 18 bis 19 Jahren oder 6793,28587 Tagen, der tropiſche in 6798,17704 Tagen. (Vergl. Art. Monat Nr. 4. Knotenmonat.) Auch die Endpunkte der langen Axe der Mondbahn, die Apſiden, — (Apſiden (v. d. griech. ἁφίς, Verbindung) ſind die beiden Punkte in der Bahn eines jeden Planeten, in deren einem der Planet der Sonne am nächſten iſt, während er in dem anderen am weiteſten abſteht. Daſſelbe gilt für den Mond in Bezug zu der Erde. Apſidenlinie heißt die gerade Linie, welche die Apſiden mit einander verbindet) — ſind einer Bewegung unterworfen. Beide nämlich gehen während eines gemeinen Jahres von 365 Tagen in Beziehung auf die Fixſterne durch einen Bogen von 40°,6488 vorwärts und haben daher eine ſideriſche Revolution von 3232,56753, eine tropiſche von 3231,46119 Tagen und hieraus ergiebt ſich (ſ. Art. Monat) die Länge des anomaliſtiſchen Monats. Uebrigens fallen die Knoten des Mondäquators immer mit denen ſeiner Bahn zuſammen und zwar immer die entgegengeſetzten, d. h. der aufſteigende Knoten des Mondäquators mit dem abſteigenden Knoten der Mondbahn in der Ekliptik.

Während bei allen Planeten die ſideriſche Umlaufszeit ſich immerwährend gleich bleibt, ſcheint der Mond eine fortwährende Verkleinerung ſeiner Umlaufszeit um die Erde und daher ſeiner großen Axe zu erleiden. Nach Jahrtauſenden würde hieraus ein Zuſammentreffen des Mondes mit der Erde folgen. Doch hat die Auffindung des Grundes jener Verminderung gezeigt, daß dieſelbe nur bis zu einer gewiſſen Grenze ſtattfindet, dann aber wieder in allmälige Entfernung übergeht. Der Grund der Beſchleunigung der mittleren Bewegung des Mondes, ſo wie ſeiner Knoten und ſeiner Apſiden, iſt nämlich die Veränderung der Excentricität der Erdbahn, die in 100 Jahren um 0,000043 abnimmt. Dieſe war am größten (= 0,01965) im Jahre 11400 vor unſerer Zeitrechnung und nimmt ſeitdem durch 36900 Jahre fortwährend ab, bis ſie im Jahre 25500 n. Chr. am kleinſten (= 0,0039) ſein wird. Eine gleiche Periode von 36900 Jahren haben folglich auch die Veränderungen des Mondes auf ſeiner Bahn.

Die Bewegung des Mondes in ſeiner Bahn hat weit weniger Gleichmäßigkeit als die der Planeten in der übrigen. Nennen wir die eben angeführte Veränderung des Mondes auf ſeiner Bahn eine ſeculäre, ſo können wir die übrigen periodiſche nennen, und dieſe haben ihren Grund in der Stellung des Mondes

gegen die Sonne oder genauer in der Lage der Sonne und des Mondes gegen die Mondknoten. Von diesen Ungleichheiten — so bezeichnet man nämlich in der Astronomie die Abweichungen von der vollkommenen Regelmäßigkeit oder Gleichförmigkeit der Bewegung des Mondes insbesondere, während man für die Planeten dasselbe mit dem Namen Perturbation belegt — ist am bedeutendsten die Evection. Die Bahn des Mondes um die feststehende Erde allein würde eine Ellipse sein; aber nun wirkt auch noch die Sonne gravitirend ein und in verschiedenen Abständen, ferner die Venus und der Jupiter, um den Mars gar nicht einmal mit zu rechnen; überdies ist die Erde keine vollkommene Kugel (— vergl. Art. Nachtgleichen, wo die Nutation besprochen ist —). Es leuchtet hiernach ein, daß durch alle diese Einflüsse die Ellipse, welche der Mond um die Erde allein beschreiben würde, mannichfache Störungen erleiden muß, zumal die gegenseitige Lage der Sonne, des Mondes und der Erde fortwährend eine andere wird. Unter Evection versteht man nun eine Veränderung in der Excentricität der Mondbahn, welche sich am größten zeigt, wenn die große Axe der Mondbahn (die Apsidenlinie) mit der Linie der Neu- und Vollmonde (Linie der Syzygien) zusammentrifft, und dagegen am kleinsten ist, wenn jene Linie in die Linie der Quadraturen fällt. Es wird nämlich durch die Gravitation der Sonne im ersten Falle die Ellipse, welche der Mond um die Erde beschreibt, verlängert, also excentrischer, im anderen Falle aus demselben Grunde rundlicher, also weniger excentrisch. Der größte Werth der Evection ist $\pm$ 1° 16′; sie ist überhaupt gleich 1°,342 multiplicirt mit dem Sinus der doppelten Winkeldistanz des Mondes von der Sonne, weniger der Winkeldistanz des Mondes von seinem Perigeum, d. h. gleich 1°,342 Mal den Sinus der doppelten Elongation weniger der Anomalie.

Eine andere Mondungleichheit ist die Variation. Bei der Bewegung des Mondes um die Erde wirken die Gravitation der Sonne und der Erde in gleichem Sinne, verstärken also einander ihre Wirkung auf den Mond, wenn dieser auf die Syzygien zugeht; umgekehrt ist es der Fall, sie wirken in entgegengesetztem Sinne, wenn der Mond von den Syzygien weggeht. Es ist dieser Einfluß am stärksten in den Octanten, während er in den Quadraturen und Syzygien verschwindet. Diese Variation genannte Ungleichheit ist gleich 0°,595 multiplicirt mit dem Sinus der doppelten Winkeldistanz des Mondes von der Sonne, d. h. gleich 0°,595 Mal den Sinus der doppelten Elongation.

Eine dritte Mondungleichheit ist die jährliche Gleichung, welche daher rührt, daß sich die stets vom Monde begleitete Erde bei ihrem Umlaufe um die Sonne bald mehr, bald weniger von der Sonne entfernt. Am auffallendsten ist dieser Unterschied in der Sonnennähe und Sonnenferne. Die Bewegung des Mondes wird beschleunigt zur Zeit unseres Sommers, also in der Sonnenferne, und verzögert zur Zeit unseres Winters, also in der Sonnennähe der Erde. Die jährliche Gleichung ist gleich 0°,187 Mal den Sinus der mittleren Anomalie der Erde.

Außer diesen Mondungleichheiten, welche man die großen nennt, giebt es noch mehrere kleinere; wir müssen indessen hier auf größere astronomische Werke verweisen, wo überdies auch über die von uns hier kurz erwähnten großen Ungleichheiten noch mehr Aufschluß entnommen werden kann. Die wahre Länge des Mondes aus seiner mittleren zu berechnen, macht eine Berücksichtigung aller

dieſer Ungleichheiten erforderlich, und darum eben iſt gerade bei dem Monde die Berechnung zu umſtändlich.

Eine Folge des wechſelnden Standes des Mondes gegen Sonne und Erde ſind die Mond- und Sonnenfinſterniſſe. Da die Erde ein dunkler Körper iſt, ſo wirft ſie, auf der einen Hälfte beleuchtet von der Sonne, hinter ſich einen langen Schatten. So wie es ſich nun trifft, daß der Mond in dieſen Schatten zu ſtehen kommt, ſo verhindert die Erde, daß das Licht der Sonne zu dem Monde gelange, und der Mond erſcheint folglich verdunkelt. Dieſes Phänomen heißt eine Mondfinſterniß. Läge die Bahn des Mondes in derſelben Ebene mit der Ekliptik, ſo müßte alle Monate eine Mondfinſterniß eintreten, nämlich jedesmal dann, wenn die Erde zwiſchen Mond und Sonne ſtünde, welches zur Zeit des Vollmondes der Fall iſt. Da jedoch die Mondbahn mit der Erdbahn einen Winkel von 5°,1 macht, ſo iſt dies nicht der Fall, indem der Mond unter oder über dem Erdſchatten weggehen kann.

Iſt der Halbmeſſer einer leuchtenden Kugel, z. B. der Sonne, R, einer beleuchteten undurchſichtigen, z. B. der Erde, r, die Entfernung ihrer Mittelpunkte E, und iſt die leuchtende Kugel größer als die beleuchtete, ſo iſt die Länge des Kernſchattens

$$x = \frac{Er}{R-r} = \frac{E}{\frac{R}{r} - 1}.$$

Verhält ſich nun der Sonnenhalbmeſſer zum Erdhalbmeſſer, wie 112:1 und iſt die Entfernung der Erde von der Sonne 20 Millionen Meilen, ſo ergiebt ſich für die Länge des Schattenkegels der Erde 180180 Meilen.

Unter den oben gemachten Bedingungen ergiebt ſich der Halbmeſſer des Kernſchattens in der Entfernung e von dem Mittelpunkte der beleuchteten Kugel:

$$\varrho = r - \frac{(R-r)\,e}{E}.$$

Berechnen wir nun, den wahren Durchmeſſer des Mondes zu 468,4 Meilen, den ſcheinbaren Durchmeſſer in der größten Entfernung zu 29′ 22″ und in der kleinſten zu 33′ 31″ genommen, die mittlere Entfernung des Mondes von der Erde = 51436,25, die größte = 54831, die kleinſte = 48041,5 Meilen; ſo ergiebt ſich der Halbmeſſer des Erdſchattens in der mittleren Entfernung des Mondes = 614,14, in der größten = 597,9 und in der kleinſten = 630,3 Meilen. Hieraus folgt, daß der Mond, deſſen Halbmeſſer nur 234,2 Meilen beträgt, in allen ſeinen Abſtänden von der Erde ſeiner ganzen Größe nach in den Erdſchatten eingehüllt ſein kann. Iſt dies der Fall, ſo heißt die Mondfinſterniß eine totale, d. h. gänzliche *).

In den vorher genommenen drei Abſtänden des Mondes, für welche wir den Halbmeſſer des Erdſchattens beſtimmt haben, ergiebt ſich der ſcheinbare Durchmeſſer des Erdſchattens in der mittleren Entfernung = 1° 22′ 5″,2, in der größten = 1° 14′ 58″ und in der kleinſten = 1° 30′ 12″; iſt nun die Nei-

*) Emsmann, phyſikaliſche Aufgaben. Leipzig 1852. Abſch. XXIII. Aufg. 1, 2, 7, 14, 15 u. 16.

gung der Mondbahn = 5° 9′ 45″, ſo muß zur Zeit der Oppoſition die Breite des Mondes (Abſtand des Mondmittelpunktes von der Ebene der Ekliptik), wenn keine Mondfinſterniß ſein ſoll, wenigſtens ſein: in der mittleren Entfernung 56′ 45″,85, in der größten 52′ 10″, in der kleinſten 1° 1′ 51″,5; und ſoll eine totale Mondfinſterniß eintreten, höchſtens: in der mittleren Entfernung 25′ 19″,35, in der größten 22′ 48″, in der kleinſten 28′ 20″,5. Iſt im erſteren Falle die Breite größer, ſo geht der Mond unter oder über dem Erdſchatten fort; iſt ſie kleiner, aber noch nicht ſo klein, als es für totale Mondfinſterniſſe erforderlich iſt, ſo geht der Mond nur theilweiſe durch den Erdſchatten und die Finſterniß heißt partial. Iſt die Breite des Mondes gleich den für die totale Finſterniß gefundenen Werthen, ſo iſt dieſelbe nur einen Augenblick total; iſt die Breite kleiner, ſo hält dieſelbe länger an, am längſten bei der Breite 0°, d. h. wenn der Mond zur Zeit des Vollmondes gerade in einem Knoten ſteht. Die längſte Dauer einer partialen Finſterniß kann nicht über 2 St. 18 Min. währen, die einer totalen nicht über 4 St. 38 M. Die Größe einer Finſterniß pflegt man nach Zollen anzugeben, indem auf den ganzen Durchmeſſer des Mondes 12 Zoll gerechnet werden. Binnen 18 Jahren und 11 Tagen kehren wegen des Umlaufes der Mondknoten alle Mondfinſterniſſe in derſelben Ordnung wieder, und zwar kommen auf dieſen Zeitraum 29 derſelben. Totale Mondfinſterniſſe haben wir zu erwarten zunächſt: 1870 am 17. Januar und 12. Juli, 1877 am 27. Februar und 23. Auguſt, 1880 am 16. December u. ſ. w.

Der Rand des Erdſchattens iſt bei einer Mondfinſterniß, während er über den Mond hinweg zieht, nicht ſcharf begrenzt, ſondern wie verwaſchen, außerdem iſt der Schatten nicht dunkel und Alles verhüllend, ſondern mehr oder weniger roth und undurchſichtig. An dem nicht ſcharfen Rande iſt der Halbſchatten Schuld, da die Sonne kein leuchtender Punkt iſt. Außerdem hat die Erde eine das Licht brechende und trübende Atmoſphäre, da ſie mit Dünſten und Wolken erfüllt iſt, und hiervon rührt jedenfalls die eigenthümliche Färbung her, worüber wir auf Art. Dämmerung Bd. II. S. 1 verweiſen. Eine Wirkung der Refraction in der Atmoſphäre der Erde und davon, daß die Atmoſphäre ebenfalls einen Schatten wirft und nicht blos der feſte Erdkern, iſt überdies eine Vergrößerung des Durchmeſſers des Erdſchattens um $^1/_{65}$ bis $^1/_{28}$ im Verhältniß zu dem oben gefundenen Reſultate, was nothwendig einen auf die Dauer der Finſterniß wohl zu beachtenden Einfluß hat. Ein völliges Verſchwinden oder Unſichtbarwerden des Mondes bei totalen Mondfinſterniſſen iſt überaus ſelten *). Die Ränder bei Mondfinſterniſſen ſind lichtbräunlich, ganz verwaſchen und in großen Finſterniſſen, namentlich kurz vor dem Anfange und gleich nach dem Ende der Totalität von ſehr ſchöner himmelblauer Farbe umfloſſen. Eine durchaus genügende Erklärung aller Farbenerſcheinungen iſt noch nicht gefunden, wiewohl nicht zu läugnen iſt, daß die Atmoſphäre der Erde hierbei eine Hauptrolle ſpielt. Das Roth iſt oft kupferfarbig, oft dem des glühenden Eiſens ähnlich, und bisweilen ſo hell, daß ſich während der Totalität ſelbſt ein Hof um den Mond bilden kann.

Eine Sonnenfinſterniß entſteht dann, wenn der Mond eine ſolche Stellung hat, daß er einem Theile der Erdbewohner den Anblick der Sonne ganz

*) v. Humboldt's Kosmos. Bd. III. S. 499.

oder theilweiſe entzieht. Da dies nur dann der Fall ſein kann, wenn der Mond in gerader Linie zwiſchen Sonne und Erde ſteht, ſo werden Sonnenfinſterniſſe nur dann eintreten können, wenn Neumond iſt und der Mond in der Nähe ſeines Knotens ſich befindet. Der Mond wirft eben ſo wie die Erde einen Schatten. Bei mittlerer Entfernung der Sonne und mittlerer Entfernung des Mondes von der Erde ergiebt ſich zur Zeit der Conjunction der Kernſchatten des Mondes etwas über 50000 Meilen. Da nun die mittlere Entfernung des Mondes von der Erde 51436, die größte 54831, die kleinſte 48041 Meilen beträgt, ſo ergiebt ſich, daß zu Zeiten der Mondſchatten bis zur Erde hinreichen kann und daſelbſt einen Schlagſchatten werfen muß, zu anderen die Erde gar nicht erreichen wird, ja es könnte der Fall eintreten, daß der Schatten nur mit ſeiner Spitze die Erdoberfläche berührt. Wirft der Mond einen Schlagſchatten auf die Erde, ſo werden alle dort ſich aufhaltenden Erdbewohner die Sonne gar nicht ſehen. Hier iſt alſo eine totale Sonnenfinſterniß.

Innerhalb des Halbſchattens wird ſich gleichzeitig eine partiale Sonnenfinſterniß zeigen und außerhalb dieſes findet gar keine Sonnenfinſterniß ſtatt. Reicht der Schatten gerade mit ſeiner Spitze bis zur Erde, ſo hat man an allen den Orten, welche der Reihe nach von der Spitze getroffen werden, eine nur einen Augenblick währende totale Sonnenfinſterniß, innerhalb des Halbſchattens iſt dieſelbe aber wieder partial. Reicht endlich der Kernſchatten gar nicht bis zur Erde, ſo iſt die Finſterniß allenthalben im Halbſchatten partial; an der Stelle jedoch, wo die den Mittelpunkt der Sonne und des Mondes verbindende gerade Linie hintrifft, wird man den Mond mitten vor der Sonne ſehen, umgeben von einem hellen Reifen von allenthalben gleicher Breite. Eine ſolche Erſcheinung nennt man eine centrale ringförmige Sonnenfinſterniß; ringförmig wird jedoch auch noch die Finſterniß da genannt, wo man die ganze dunkle Mondſcheibe vor der Sonne erblickt, umgeben von dem überſtehenden halben Theile der Sonne, wenn dieſer auch nicht allenthalben von gleicher Breite iſt. Dies iſt in dem Raume der Fall, welcher in dem über die Spitze verlängert gedachten Kegelmantel des Kernſchattens des Mondes liegt. Außerhalb dieſes Raumes zeigt ſich in dem Halbſchatten eine partiale Finſterniß. Der Mond zieht vor der Sonne vorüber wie eine Wolke und eben ſo wie mit dieſer der Schatten über die Erde fortſchreitet, ſo iſt es auch mit dem Schatten des Mondes. Daher iſt jede Sonnenfinſterniß nur auf einem beſtimmten Theile der Erdoberfläche ſichtbar und in ihrer Erſcheinung für die verſchiedenen Orte gleichzeitig verſchieden, wodurch ſie ſich weſentlich von der Mondfinſterniß unterſcheidet, die auf dem ganzen Theile der Erde geſehen wird, an welchem überhaupt der Mond zur Zeit ſeiner Verfinſterung über dem Horizonte ſteht, was, da die Finſterniß noch einige Zeit währt, mehr als die Hälfte der Erdkugel trifft. Für die ganze Erde ſind die Sonnenfinſterniſſe daher zwar häufiger, indem faſt 40 in 18 Jahren, aber nur 29 Mondfinſterniſſe, eintreten; für einen beſtimmten Ort der Erde treten ſie aber ſeltener ein. Im Durchſchnitte hat jeder Ort nur alle 2 Jahre eine Sonnenfinſterniß und nur alle 200 Jahre etwa eine totale. Die in dieſem Jahrhunderte noch bevorſtehenden in Europa ſichtbaren Sonnenfinſterniſſe ſind: 1858 am 15. März; 1860 am 28. Juli; 1861 am 31. December — Mädler ſagt, daß in dieſer Finſterniß etwas Poetiſches liegt, indem ſie am letzten Tage des ſcheidenden Jahres eintritt und zweifelsohne würden terreſtriſche Ereigniſſe mit dieſer Conſtellation in Verbindung ge-

bracht werden; 1863 am 17. Mai; 1867 am 6. März; 1868 am 23. Februar; 1870 am 22. December; 1873 am 26. Mai; 1874 am 10. October; 1880 am 31. December; 1882 am 17. Mai; 1887 am 19. August — für Berlin die einzige totale Sonnenfinsterniß des 18. und 19. Jahrhunderts; 1890 am 17. Juni; 1891 am 6. Juni; 1896 am 9. August; 1899 am 8. Juni und 1900 am 28. Mai.

Bei Sonnenfinsternissen ist der Mond, wenn er die Sonne völlig verdeckt, mit einem hellen, nach außen allmälig sich verlaufenden Nimbus umgeben, in welchem und am Rande des Mondes selbst man glänzend rothe Hervorragungen, Protuberanzen, von verschiedener Gestalt und Größe beobachtet hat. Den weißen, mit Strahlen versehenen Nimbus, die sogenannte Corona, hielt man früher für eine Wirkung der Mondatmosphäre. Da diese nicht erwiesen werden kann, so vermuthet man, daß dieselbe einen Theil der Photosphäre der Sonne bildet, vielleicht aber auch ihre Entstehung der Inflexion des Lichtes am Rande des Mondes, oder vielleicht beiden zugleich, verdanke. Die Protuberanzen gehören wahrscheinlich der Sonne allein.

Die Berechnung der Sonnen- und Mondfinsternisse ist nicht schwer und schon die ältesten Völker haben sie verstanden. Wir müssen indessen hier auf größere astronomische Werke verweisen. Es wird in den heiligen Büchern der Chinesen erzählt, daß im Jahre 2550 v. Chr. eine Finsterniß stattgefunden habe, welche die Astronomen Ho und Hi falsch berechnet hätten, wofür sie mit dem Tode bestraft worden wären. Ptolemäus erzählt im Almagest von zwei Mondfinsternissen, welche die Chaldäer zu Babylon 719 und 720 v. Chr. beobachtet haben. Zwei sehr alte Sonnenfinsternisse sind die Agathokles'sche und die, welche die kämpfenden Lyder und Meder trennte und Thales vorher verkündet hatte. Nach Airy war letztere am 28. Mai 585 v. Chr.; eine in sofern wichtige Bestimmung, als aus ihr eine unbedeutende Verringerung des Zurückgehens der Mondknoten hervorgeht.

Von jeher haben die dunkleren Flecke, welche der leuchtende Mond zeigt, und besonders der Mangel scharfer Abgrenzung in den Mondphasen an dem inneren Rande gegen den aschfarbenen Theil hin, die Aufmerksamkeit der Beobachter auf sich gezogen. Seit man den Mond durch Fernröhre betrachtet, ist kein Zweifel, daß dieselben Thäler und Berge sind. Schon Plutarch in seiner kleinen Schrift über das Gesicht im Monde ahndet in den Flecken theils tiefe Klüfte und Thäler, theils Berggipfel *). Man hat dieses namentlich aus den Schatten der Mondberge geschlossen. Diese Schatten sind um so länger, je höher die Berge sind, welche sie erzeugen, und je tiefer für sie die Sonne am Horizont steht, und sie befinden sich stets auf der von der Sonne abgekehrten Seite der Berge. An der Lichtgrenze des dunklen und beleuchteten Theiles des Mondes befinden sich diejenigen Orte, welchen so eben die Sonne aufgeht, für die sie also am tiefsten am Horizonte steht. Auf dieser Seite sind auch die Schatten am längsten, und dieselben werden immer kürzer, je tiefer die sie erzeugenden Berge in der Lichtseite des Mondes liegen. Zur Zeit des Vollmondes steht der Mitte des Mondes die Sonne im Zenith, daher werfen hier die Berge gar keinen Schatten mehr,

*) v. Humboldt's Kosmos. Bd. III. S. 502.

wie dieſes auch auf der Erde der Fall iſt, an Orten, denen die Sonne in der Mitte des Horizonts ſteht. Man hat ſelbſt die Höhe der Mondberge zu berechnen verſucht und Schröter hat Berge entdeckt, welche eine Höhe von 25000 Par. Fuß haben, welches der Höhe der höchſten Erdberge gleich kommt, wo nicht ſie übertrifft. Vergleicht man dieſe Höhe mit dem Durchmeſſer des Mondes, ſo zeigt ſich, daß er Berge hat, die im Verhältniß zum Durchmeſſer viermal höher als die Berge der Erde ſind. Man unterſcheidet im Allgemeinen zwei Gattungen von Mondgebirgen, nämlich Ringgebirge und Bergketten. Jene haben größtentheils die Form großer ausgetrockneter Teiche, welche rings von hohen Wällen umgeben ſind, und oft viele Quadratmeilen große Flächen einſchließen, in deren Mitte gewöhnlich ein einzelner kegelförmiger Berg ſich erhebt. Die Bergketten laufen meiſt ſtrahlenförmig von hohen Bergrücken aus. Die Ringgebirge ſcheinen durchaus vulkaniſchen Urſprunges zu ſein, indem die eingeſchloſſenen Flächen ungeheuer weite und tiefe Kraterbecken ſind. Nach Schröter iſt die Maſſe der einen ſolchen Krater umgebenden Berge ſtets ſo groß, daß ſie gerade den Krater auszufüllen hinreichen würde, hiernach wären ſie die Anhäufungen der ausgeworfenen Maſſen. Außer den Ring- und Kettengebirgen bemerkt man auf der Mondoberfläche noch eine Menge einzelner Bergkegel, welche iſolirt ſtehen und ſich ſchroff über die umgebende Ebene erheben. Auch entdeckt man, gewöhnlich zwiſchen zwei oder mehreren Ringgebirgen, Streifen von unbedeutender Breite, welche oft mitten durch die Krater hindurchgehen und wie Straßen fortlaufen, aber gewiß keine ſolchen ſind, wie man wohl geglaubt hat. Ueberdies giebt es noch große, meiſt grau gefärbte Flecken, in welchen keine Unebenheiten zu entdecken ſind, und die man Meere genannt hat. Von den Vulkanen des Mondes ſcheinen einige noch jetzt in Thätigkeit zu ſein. So will Halley Feuerſcheinungen (Blitze) auf dem Monde wahrgenommen haben. Herſchel bemerkte auf dem nicht beleuchteten Theile des Mondes einen hellleuchtenden Punkt, welchen er für das Feuer eines Vulkanes hielt. Schröter entdeckte 1788 einen neuen Krater, von dem er gewiß wußte, daß er vorher noch nicht exiſtirt hatte. Auch hat derſelbe großartige vorübergehende Veränderungen an den Mondbergen bemerkt. Man hat vielfache Beſchreibungen und Karten des Mondes gegeben, in denen die einzelnen Flecke beſondere Namen erhalten haben. Hevel*) gab den Mondbergen und den grauen Ebenen, die er für Meere hielt, Namen von Ländern, Meeren und Bergen der Erde. Nachher hat ein ſpaniſcher Aſtronom den Mondflecken die Namen der Kalenderheiligen ertheilt. Der Jeſuit Riccioli gab endlich denſelben die Namen berühmter Aſtronomen und Gelehrten, ein Princip, welches bis jetzt in Gebrauch geblieben iſt. In topographiſcher Hinſicht iſt eine Karte von Caſſini zu erwähnen. Die erſten Karten, 2 vom Vollmonde und 2 topographiſche Hauptkarten, nebſt 40 etwa 8 Zoll großen Abbildungen lieferte Hevel. Auf Meſſungen beruhte zuerſt die Karte von Tobias Mayer**). Außerdem haben ſich verdient gemacht Schröter in Lilienthal bei Bremen, deſſen „Atlas des Mondes" (1794 und 1802) über 70 Karten enthält. Ferner verdient Gruithuiſen und namentlich Lohrmann in Dresden Erwähnung, von denen der letztere eine

**) Joannis Hevelii Selenographia seu descriptio lunae etc. Danzig 1647.

*) Eine Copie derſelben in Schröter's ſelenographiſchen Fragmenten. Bd. I. 1791. Bd. II. 1802.

Karte in 25 Sectionen entwarf, von denen aber nur bis 1824 vier erschienen sind *). Die neuesten ausgezeichneten Mondkarten sind von Beer und Mädler **). Neuerdings hat auf Schmidt's Veranlassung Dickert in Bonn die ganze sichtbare Hemisphäre des Mondes in dem Maßstabe von 18 Par. Fuß Durchmesser in Reliefform ausgearbeitet. 1849 bis 1854 ***). v. Humboldt besitzt ein Daguerreotyp des Mondes (Mond-Lichtbild) von zwei Zoll Durchmesser, in welchem man die sogenannten Meere und Ringgebirge deutlich erkennt, angefertigt von Whipple zu Boston ****).

Wir bemerken hier noch, daß der Regel nach die dunkleren Theile der Mondscheibe die flächeren und niederen, die helleren, viel Sonnenlicht reflectirenden Theile die höheren und gebirgigen sind. Die größeren niederen Ebenen liegen in dem nördlichen und östlichen Theile; in Südwesten sind Berge an Berge gedrängt. Einige Berge des Mondes haben eine Höhe $= \frac{1}{454}$ des Monddurchmessers, während auf der Erde dies Verhältniß für die höchsten Berge nur $\frac{1}{1481}$ ist. Die Messungen der Berghöhen auf dem Monde geschehen entweder durch Licht-Tangenten, d. h. durch Bestimmung des Abstandes der in der Nachtseite des Mondes als Lichtpunkte erleuchteten Berggipfel von der Lichtgrenze, oder durch die Länge der Schatten. Schon Galilei bediente sich der ersten Methode. Schlimm ist es hierbei, daß es auf dem Monde kein mittleres Niveau giebt, wie auf der Erde die Meeresfläche, auf welches die Höhenmessungen bezogen werden können. Es geben daher die Messungen durch Schattenlängen nur die Berghöhe über demjenigen Punkte an, welcher zur Zeit der Beobachtung von der Schattenspitze getroffen wurde. Fällt nun der Schatten in eine Ebene, ein Meer, so erhält man ziemlich übereinstimmende Resultate, nicht aber in bergigen Gegenden. Ist der Berg spitz, scharf und steil, außerdem von einer Ebene umgeben, so kann man sogar durch den Schatten auf die Ebene gewissermaßen nivelliren und die Krümmungen in den grauen Ebenen bestimmen. J. Schmidt in Olmütz hat bisher zuerst und allein derartige Zusammenstellungen gegeben, namentlich von dem Berge Callippus α, aus welchen hervorgeht, daß das Mare Serenitatis, wenigstens mit seinen östlichen Flächen, bedeutend und gewiß ein Paar hundert Toisen höher liegt als der Palus *****).

Ob der Mond eine Abplattung habe, sollte man theoretisch vermuthen, sowohl wegen seiner Rotation, als wegen der Gravitation der Erde, die eine äquatoriale Anschwellung der diesseitigen Halbkugel herbeiführen mußte. Directe Beobachtungen haben keine Abplattung ergeben †); doch ist damit der Mangel derselben noch nicht erwiesen, da dieselbe theoretisch nur 9,2 Toisen betragen würde, eine Größe, die sich allerdings der Beobachtung entziehen kann.

---

*) W. H. Lohrmann, Topographie der sichtbaren Mondoberfläche. 1 Abth. 1824.

**) Mappa Selenographica etc. Berlin 1834 ff., begonnen 1830, 4 Blätter, beendigt 1837.

***) Ueber das Bremer Relief: Das Relief der sichtbaren Halbkugel des Mondes. Olmütz 1854; Leipziger illustr. Zeitung Nr. 549. 14. Octbr. 1854.

****) Kosmos. Bd. III. S. 505.

*****) Jahn's Unterhaltungen. 1854. S. 113—115.

†) Bessel in Astron. Nachr. Nr. 263.

Schließlich erwähnen wir noch des Einfluſſes, welchen der Mond auf die Erdbeben zu haben ſcheint. Nach Perrey *) folgt aus einer Zuſammenſtellung von etwa 7000 Beobachtungen von Erdbeben, daß der Einfluß des Mondes auf dies Ereigniß dreifacher Art iſt:

1) die Erdbeben ſind häufiger in den Syzygien als in den Quadraturen;
2) in Beziehung auf den Mondstag zeigt die Häufigkeit der Erdbeben 2 Maxima und 2 Minima, erſtere entſprechend den Durchgängen des Mondes durch den Meridian, letztere entſprechend den Abſtänden dieſes Geſtirnes vom Meridian des Ortes um 90°;
3) die Erdbeben ſind häufiger in Perigeum als Apogeum des Mondes.

Nach Perrey und Elie de Beaumont liegt hier eine Art Ebbe und Fluth zu Grunde, welche die Anziehungskraft des Mondes im flüſſigen Erdinnern, welches nur von einer verhältnißmäßig ſo dünnen ſtarren Rinde bedeckt iſt, erzeugt. Auch bei den in neueſter Zeit ſo häufigen Erdbeben in der Schweiz will man einen Einfluß des Mondes bemerkt haben, und zwar daß die Stöße bei wachſendem Monde am ſtärkſten ſind.

Wegen der Wirkung des Mondes auf das Meer iſt Art. Ebbe und Fluth zu vergleichen, wegen des magnetiſchen Einfluſſes auf die Erde Art. Magnetismus der Erde. Ueber den Einfluß des Mondes auf die in der Atmoſphäre vorgehenden Veränderungen fehlte es bis in die neuere Zeit an genauen Beobachtungen. Arago hat eine Zuſammenſtellung des hierher Gehörigen geliefert. Was Flaugergue's Unterſuchungen zuerſt ergeben, hat ſich durch Bouvard's und Eiſenlohr's, ferner durch Schübler's Beobachtungen beſtätigt, nämlich, daß eine Abhängigkeit des Regens von der Mondſtellung nicht zu läugnen iſt. Eben ſo hat ſich nach Schübler und Bouvard in Beziehung auf die Winde herausgeſtellt, daß die ſüdweſtlichen Winde zur Zeit des zweiten Octanten ihr Maximum, zur Zeit des letzten dagegen ihr Minimum haben. Nach meinen eigenen Unterſuchungen **) fällt für Berlin das Maximum der weſtlichen Winde zur Zeit des erſten Mondviertels am meiſten nach Süden und entfernt ſich am meiſten zur Zeit des letzten Viertels; mit der größten Annäherung an Süden fällt das Maximum der Stärke zuſammen, mit der größten Abweichung das Minimum. Das Maximum der ſüdweſtlichen Winde finde ich beim erſten Viertel, das Minimum beim letzten, alſo unmittelbar vor der von Schübler und Bouvard gefundenen Mondsphaſe. Das Minimum der nordöſtlichen Winde geht dem Maximum der ſüdweſtlichen voraus, und das Maximum der nordöſtlichen Winde dem Minimum der ſüdweſtlichen. Eine Abhängigkeit der Windverhältniſſe von der Mondſtellung ſcheint hiernach nicht zweifelhaft zu ſein.

Das bedeutendſte Werk über den Mond iſt:

Der Mond nach ſeinen kosmiſchen und individuellen Verhältniſſen, oder allgemeine, vergleichende Selenographie, mit beſonderer Beziehung auf die von den Verfaſſern herausgegebene Mappa Selenographica von W. Beer und Dr. J. H. Mädler. Berlin 1837.

---

*) Instit. 1854. p. 201; Compt. rend. T. XXXVIII. p. 1038.; Sillim. Amer. Journ. (2) T. XIX. p. 55.

**) Emsmann, Unterſuchungen über die Windverhältniſſe zu Berlin. Frankfurt a. O. 1839. S. 16.

Ein größeres ſelenographiſches Werk, in welchem auch Lohrmann's Nachlaß Berückſichtigung finden wird, iſt angekündigt von J. F. Jul. Schmidt. Ein Vorläufer dieſes Werkes iſt ſo eben erſchienen: Der Mond. Ein Ueberblick über den gegenwärtigen Umfang und Standpunkt unſerer Kenntniſſe von der Oberflächengeſtaltung und Phyſik dieſes Weltkörpers von J. F. Jul. Schmidt. Leipzig 1856.

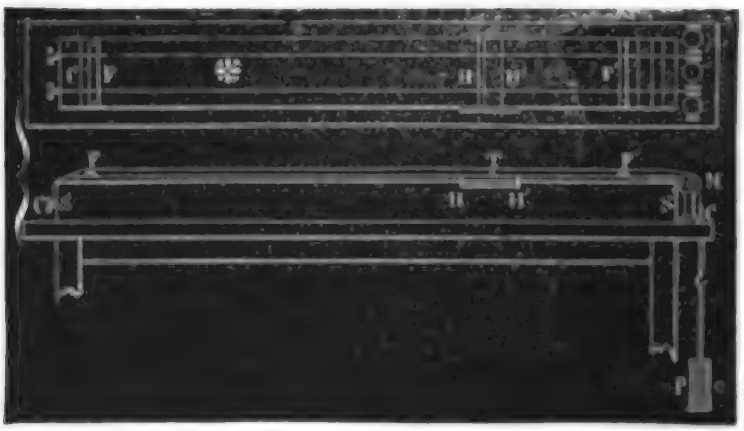
Für die Parallaxe des Mondes braucht man jetzt vorzugsweiſe die Mondtafeln von Burkhardt; neue Tafeln ſind erſchienen von Adams in Cambridge, der in den Burkhardt'ſchen mehrere Fehler nachgewieſen hat. Bedeutende Erleichterung gewähren beim Rechnen die Mondtafeln von Peirce in Nordamerika, die ſich auf theoretiſche Unterſuchungen von Plana, Hanſen und Airy gründen. Von Hanſen in Gotha ſtehen neue Tafeln in Ausſicht.

H. E.

Mondfinſterniſſe, ſ. Mond.

Monochord (v. dem griech. *μόνος*, einzig, und *χορδή*, Saite, alſo Einſait), oder Sonometer (Schallmeſſer), oder beſſer Tonometer (Tonmeſſer) iſt ein Inſtrument zur Ermittelung und Prüfung der bei geſpannten Saiten ſtattfindenden Verhältniſſe zwiſchen Länge, Dicke und Spannung zu dem Tone, welchen ſie, in Schwingungen verſetzt, geben.

Das Monochord kann verſchiedene Geſtalten erhalten; in der einfachſten beſteht daſſelbe aus einer einzigen über einen Reſonanzboden nach Art der Saiten eines Claviers geſpannten Saite, unter welcher ein verſchiebbarer Steg an beliebigen Stellen eingeſetzt werden kann. In der Regel bringt man aber mehrere Saiten an, wenigſtens zwei, um das Verhältniß des Tones zur Saitendicke, oder zur Spannung zu ermitteln, auch wohl um dem Stoffe nach verſchiedene Saiten in akuſtiſcher Hinſicht vergleichen zu können. Beiſtehende Figur zeigt ein Monochord mit zwei Saiten, alſo eigentlich ein Dychord. Die Saite iſt an einem Haken



oder Zapfen C befeſtigt, geht über die feſten Stege F und F', über eine bewegliche Rolle M und endet an einem anderen Haken C', an welchem man das ſpannende Gewicht P anhängt. Der bewegliche Steg II II' kann unter der Saite hingehen, ohne ſie zu berühren; man ſtellt ihn, wohin man will, und drückt, um die Länge der Saite zu verkürzen, dieſe mit dem Finger auf die Kante T dieſes Steges. Der Kaſten SS' iſt ein zur Verſtärkung des Schalles dienender Reſonanzboden.

In dem Artikel Ton ist das Nähere angegeben über die Beziehungen zwischen Schwingungszahl und Ton. Um den Gebrauch des Monochords zu erläutern, erinnern wir hier nur daran, daß

$$N : n = \frac{\sqrt{P}}{DL} : \frac{\sqrt{p}}{dl}$$

sich verhält, wo N und n die Schwingungszahlen zweier gespannter Saiten, L und l ihre Längen, D und d ihre Durchmesser und P und p ihre Spannung bezeichnen. Für Saiten von gleichem Durchmesser und gleicher Spannung erhalten wir also

$$N : n = l : L \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1);$$

für Saiten von gleicher Länge und gleicher Spannung

$$N : n = d : D \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

und für Saiten von gleichem Durchmesser und gleicher Länge

$$N : n = \sqrt{P} : \sqrt{p} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3).$$

Diese Proportionen zu prüfen, dient das Monochord. Gesetzt die Saite sei hinlänglich gespannt, um einen reinen und vollen Ton zu geben, wenn sie ohne Anwendung des Steges HH′ schwingt. Man nehme den von ihr angegebenen Ton als Grundton, also als C, an und verrücke den Steg nach und nach so, daß man die übrigen Noten der Tonleiter D, E, F, G, A, H, c erhält. Ist nun der als Einheit angenommene Abstand der beiden Stegkanten F und F′ genau in kleine Unterabtheilungen bis zu Funfzehnteln eingetheilt, so wird man für die Töne der Tonleiter folgende entsprechende Längen finden:

Name der Töne	C	D	E	F	G	A	H	c
Längen der Saite	1	$^8/_9$	$^4/_5$	$^3/_4$	$^2/_3$	$^3/_5$	$^8/_{15}$	$^1/_2$

und da die Anzahl der Schwingungen der Saite im umgekehrten Verhältnisse ihrer Länge steht, so wird man, wenn man die Schwingungszahl für C als Einheit annimmt, erhalten:

Name der Töne	C	D	E	F	G	A	H	c
Schwingungszahl	1	$^9/_8$	$^5/_4$	$^4/_3$	$^3/_2$	$^5/_3$	$^{15}/_8$	2

Auf diese Weise wäre die unter (1) aufgestellte Proportion der Prüfung zu unterwerfen. In ähnlicher Weise verfährt man bei Ermittelung der Tonverhältnisse in der chromatischen Tonleiter und allen sonstigen Tonverhältnissen, so weit bei denselben nur die Länge in Betracht kommt, worüber Artikel Ton zu vergleichen ist.

Soll die unter (2) aufgestellte Proportion geprüft werden, so sind, während vorher eine einzige Saite ausreichte, zwei von verschiedenem Durchmesser aufzuspannen. Der Steg HH′ kommt hier nicht zur Anwendung, dagegen sind beide Saiten durch ein gleiches Gewicht P zu spannen. Wählt man zwei Saiten, von denen der Durchmesser der einen doppelt so groß ist, als der der anderen, was man am zweckmäßigsten durch Abwägung gleich langer Stücken beider Saiten ermittelt, so giebt die dünnere die Octave des Tones der dickeren; stehen die Durchmesser in dem Verhältnisse 3 : 2, so erhält man den Grundton und die Quinte ꝛc.

Bei der Prüfung der unter (3) aufgestellten Proportion werden zwei Saiten von derselben Drahtnummer aufgespannt, der Steg HH′ bleibt ebenfalls fort, aber die spannenden Gewichte sind verschieden. Ist p = 4 P, so giebt die stärker gespannte Saite die Octave von der schwächer gespannten; stehen die spannenden

Gewichte im Verhältniß von 4 : 9, ſo erhält man Grundton und Quinte u. ſ. f. Die Gewichte im Verhältniſſe 1 : 4 zu nehmen iſt übrigens an dem beſchriebenen Monochord kaum durchzuführen, da an ſich ſchon ein großes Gewicht erforderlich iſt, um einen klaren Ton zu erhalten; man nimmt daher gewöhnlich nur das Verhältniß 4 : 9.

Die oben angegebene Einrichtung mit Rollen, über welche die Saite geführt wird, iſt zu ſcharfen Meſſungen weniger geeignet; beſſer iſt hierzu ein verticales Geſtell, wie ſolches E. G. Fiſcher *) benutzt hat. Die Saiten werden dann durch die angehängten Gewichte unmittelbar geſpannt. Dieſelbe Einrichtung wählte auch W. Weber **) bei ſeinen akuſtiſchen Unterſuchungen, allerdings mit einigen verbeſſernden Abänderungen. Um die Rollen zu umgehen, hat man wohl auch metallene Hebel angebracht, welche die ſpannenden Gewichte tragen, und an denen das eine Ende der Saite eingehakt wird; doch hat dieſe Einrichtung manche Uebelſtände, wodurch eine ſo genaue Meſſung, wie bei an verticalen Saiten hängenden Gewichten nicht möglich wird. Wir erwähnen hier nur die Reibung an dem Stifte, welcher als Hypomochlium dient, und daß es ſchwierig iſt, der Saite gerade die zweckmäßige Länge zu geben, abgeſehen davon, daß man erſt den Schwerpunkt der Hebel beſtimmen muß, um durch Berückſichtigung des Gewichtes derſelben die Reduction auf mathematiſche Hebel durchzuführen.

Außer der oben angegebenen Prüfung der Schwingungsverhältniſſe transverſal ſchwingender tönender Saiten, ſo weit die Länge, der Durchmeſſer und die Spannung darauf Einfluß hat, dient das Monochord noch zu manchen anderen experimentellen Unterſuchungen. Wir führen hier noch Einiges auf.

Man ſtelle den beweglichen Steg auf einen aliquoten Theil der Saite, ſo daß dieſelbe in ungleiche Längen zerfällt; beſetze das längere Stück mit kurzen, ſchmalen Papierſtreifen, die in der Mitte eingeknickt ſind (Reiterchen), und ſtreiche das kürzere Saitenſtück mit einem Violinbogen. Die Reiterchen fallen ab mit Ausnahme derjenigen, welche auf einem Theilpunkte ſtehen, ſo daß daraus klar wird, wie die Saite in aliquoten Theilen geſchwungen hat, und daß die Theilpunkte Schwingungsknoten waren. War der Steg auf $^1/_3$ geſtellt, ſo bleiben die Reiterchen auf $^2/_3$, $^3/_3$ und $^4/_3$ ſitzen u. ſ. f.

Man ſpanne zwei Saiten des Monochords ſo, daß ſie genau denſelben Ton geben. Setzt man die eine in ſchwingende, tönende Bewegung, ſo giebt die andere denſelben Ton, d. h. ſie ſchwingt mit, wie man ſich leicht dadurch überzeugen kann, daß bei Berührung der erſten Saite, ſo daß ſie zu tönen aufhört, der Ton noch durch die zweite Saite forttönt. Auch durch den Anblick der Saite, indem ſie ſich ſcheinbar verdickt, gewinnt man die Ueberzeugung, daß dieſelbe in Schwingungen gerathen iſt.

Reibt man eine Saite mittelſt eines mit Colophonium beſtreuten Läppchens longitudinal, ſo werden aufgeſetzte Reiterchen hin und her geſchoben zum Beweiſe der longitudinalen Schwingungen.

Die Erzeugung der Klirrtöne ***) gelingt am Monochord nur ſchwer, wohl mit deshalb, weil der Apparat hierzu meiſtentheils zu kurz iſt. Wir führen

*) Berliner Denkſchriften 1822 und 1823. S. 187.
**) Pogg. Ann. Bd. XV. S. 1.
***) Chladni's Akuſtik. Leipzig 1802. S. 74. §. 59.

hier nur an, daß, wenn der Steg unter die Mitte der Saite gesetzt wird, so daß diese nicht fest aufliegt, und wenn die Saite so gerissen wird, daß sie senkrecht auf den Steg aufschlägt, ein Ton entsteht, der um eine Quinte tiefer ist, als der tiefste natürliche Ton der Saite.

Auch für Combinations-Töne ist in der Regel das Monochord zu kurz.

Da das Monochord mit einem Resonanzboden versehen ist, so kann man sich desselben zweckmäßig zur Veranschaulichung von Resonanzerscheinungen bedienen. Man stemme eine etwas starke Glasröhre senkrecht auf den Deckel des Resonanzbodens und setze sie durch Reiben mittelst eines wollenen Läppchens in longitudinale Schwingungen, so zeigen sich auf dem mit Sand bestreuten Resonanzboden Schwingungsfiguren. H. E.

Morgen, s. Abend.

Morgenpunkt, s. Abendpunkt.

Morgenröthe, s. Dämmerung und Himmel.

Morgenweite, s. Abendweite.

Morgenstern, s. Planeten.

Multiplicator (v. dem lat. multiplicare, vervielfältigen) Galvanoskop, Galvanometer ist ein Apparat, durch welchen das Vorhandensein schwacher elektrischer Ströme, wie durch die Elektroskope schwache Grade gewöhnlicher Elektricität, nachgewiesen, oder die Stärke des elektrischen Stromes, wie durch die Elektrometer die der Reibungselektricität, gemessen werden soll. Anfangs unterschied man nicht scharf diese beiden Gesichtspunkte, wie es wohl auch mit Elektroskop und Elektrometer theilweise der Fall ist, und brauchte die Bezeichnung Galvanoskop und Galvanometer nach Belieben; jetzt aber ist dieser Unterschied entschieden festzuhalten. Wir werden daher auch in diesem Artikel die Apparate, welche nur die Gegenwart schwacher elektrischer Ströme anzeigen, d. h. die Galvanoskope oder eigentlichen Multiplicatoren, von den Apparaten, welche zur Messung der Stromstärke dienen, d. h. von den Galvanometern abgesondert behandeln.

I. Galvanoskop oder Multiplicator.

Bald nach Entdeckung des Elektromagnetismus (1820) erfand Schweigger in Halle ein Instrument, welches die Gegenwart auch der schwächsten elektrischen Ströme durch die von denselben bewirkte Ablenkung der Magnetnadel aus ihrer gewöhnlichen Stellung anzeigt. Es ist dies der Schweigger'sche Multiplicator, ein Instrument, welches bis jetzt noch und wohl für immer als eigentliches Galvanoskop im Gebrauche ist und bleiben wird. Vorher bediente man sich der Froschschenkel zu dem Nachweise schwacher elektrischer Ströme, und somit könnte man von Schweigger's Erfindung die Emancipation der Frösche datiren.

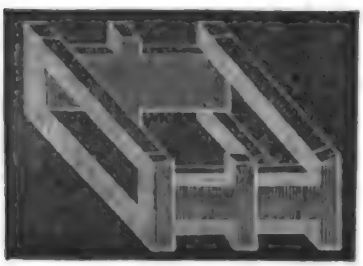
Die Construction dieses Instrumentes beruht auf dem Umstande, daß, wenn ein elektrischer Strom durch einen Metalldraht in der Ebene des magnetischen Meridians über eine freihängende Magnetnadel oder unter derselben hingeführt wird, derselbe eine Ablenkung des Nordpols der Nadel nach Osten oder Westen bis zur senkrechten Stellung auf die Richtung des magnetischen Meridians bewirkt. Das Gesetz, nach welchem diese Ablenkung gemäß der Richtung des Stromes erfolgt, ist im Art. Elektromagnetismus Bd. II. S. 781 und 782 näher

angegeben. Ebenda findet ſich auch der Nachweis, daß ein über eine Nadel hinweggeführter Strom in demſelben Sinne ablenkend auf die Magnetnadel wirkt, wie ein in entgegengeſetzter Richtung unter der Nadel hinweggeführter, d. h. das Princip, auf welchem eben der Schweigger'ſche Multiplicator *) beruht. Wir verweiſen hier auf den angeführten Artikel, inſofern daſelbſt auch wegen der mehrfachen Windungen, wegen der Iſolirung der einzelnen Windungen und wegen der Verwendung einer aſtatiſchen Nadel ſtatt der einfachen das Weſentlichſte bereits Aufnahme gefunden hat, und bringen hier nur noch neben dem Hiſtoriſchen das Speciellere bei, um die Beſchreibung des Apparates zu vervollſtändigen.

Da man es beim Multiplicator gewöhnlich nur mit ſchwachen Elektricitätsgraden zu thun hat, ſo genügt es den Draht in ſeiner ganzen Länge mit Knopfſeide einfach zu überſpinnen. Um die Ablenkung der Magnetnadel durch die Entladung der Leidner Flaſche nachzuweiſen, wendete Colladon **) einen Apparat an mit 500 Umwindungen, deſſen Draht doppelt mit Seide umſponnen war und deſſen Windungen er überdies durch Wachstaffent getrennt hatte, da ſonſt die Elektricität von einer Umwindung zur anderen übergeht.

Gewöhnlich bedient man ſich eines kupfernen Drahtes von der Dicke einer Klavierſaite, da das Kupfer vorzügliche Leitungsfähigkeit beſitzt. Weil der Leitungswiderſtand des Drahtes mit zunehmendem Durchmeſſer deſſelben abnimmt, ſo iſt es gut, wenn man zwei Multiplicatoren hat, etwa den einen mit 20 bis 30 Windungen aus Draht von $^1/_2$ bis $^2/_3$ Millimeter, und den anderen mit 100 bis 200 und mehr Windungen von ſehr feinem Drahte, wobei man im letzteren Falle, wenigſtens wenn man noch mehr Windungen anbringt, wohl noch die Einrichtung trifft, nach Belieben alle Windungen oder nur die Hälfte benutzen zu können, da der Widerſtand mit der Länge des Drahtes wächſt. Becquerel unterſcheidet Multiplicatoren mit langen Drähten oder elektrochemiſche, weil dieſe beſonders brauchbar ſind, wo der elektriſche Strom durch chemiſche Thätigkeit erregt wird, und Multiplicatoren mit kurzem Drahte oder thermoelektriſche zur Benutzung bei elektriſchen Strömen, die unter gewiſſen Umſtänden durch die Wärme erregt ſind. Auch Fechner ***) hebt dieſen Unterſchied hervor und hat in dieſer Beziehung wichtige Unterſuchungen angeſtellt.

Zur Befeſtigung der Windungen dient ein nach der Länge der anzuwendenden Nadel ſich richtender, möglichſt niedriger Kupfer- oder Holzrahmen, im Lichten etwa 2 Zoll im Quadrate haltend und an zwei gegenüberſtehenden Seiten, die zur Aufnahme der Drahtwindungen beſtimmt ſind, bis auf 3 bis 5 Linien Dicke ausgeſchnitten. Nebenſtehende Figur wird dieſen Rahmen am anſchaulichſten machen. Bei Du Bois-Reymond's Multiplicator beträgt die Länge des Rahmens im Lichten oder des Spielraums für die untere Nadel 64^{mm}; Breite im Lichten



*) Schweigger's Journ. Bd. XXXI. S. 2.
**) Pogg. Ann. Bd. VIII. S. 336.
***) Pogg. Ann. Bd. XLV. S. 232.

37mm; Höhe der Querleiſten oder des Spielraums für die untere Nadel 4mm; Länge der Seitenwände 110; Höhe derſelben 51mm.

Die Nadel muß innerhalb des Rahmens zwiſchen der oberen und unteren Seite der Windungen ſchweben, oder iſt die Nadel aſtatiſch, ſo muß die untere Nadel zwiſchen den Windungen ſich bewegen können, die obere über den oberen. Damit zwiſchen den Windungen der nöthige Raum zum Aufhängen der Nadel bleibt, iſt am Rahmen, wie die Figur zeigt, in der Mitte der zum Aufwinden beſtimmten Seiten noch ein Vorſprung ſtehen geblieben, der die Windungen zu beiden Seiten auseinander hält. Durch dieſe gebildete Oeffnung geht ein feiner Faden (ein Coconfaden), welcher die innerhalb des Rahmens befindliche Nadel trägt und oberhalb befeſtigt iſt, ſo daß die Nadel frei beweglich an ihm ſchwebt. Raſchig *) ließ den Coconfaden noch durch ein Glasröhrchen gehen, was indeſſen unnöthig iſt. Bei der Einrichtung von Yelins **) wirken die Drahtwindungen nur von einer Seite auf die Nadel. Ritchie ***) hing die Nadel ſtatt an einem Coconfaden an einem feinen Glasfaden auf und nannte den Apparat Torſions-Galvanometer; doch geſteht er ſelbſt, daß eine Aufhängung an einem Coconfaden empfindlicher iſt. Marianini's Multiplicator ****) ſoll die Drähte mit den Nadeln immer in derſelben verticalen Ebene erhalten, hat aber durch die deshalb getroffene Einrichtung an Feinheit verloren.

Das Rähmchen befeſtigt man auf einem Brettchen, welches auf einem mit drei Schraubenfüßen verſehenen Geſtelle horizontal drehbar iſt. Die Drahtenden läßt man an den Seiten des Brettchens heraustreten. Auf der oberen Seite des Rahmens bringt man eine hölzerne, oder elfenbeinerne, oder kupferne Platte mit einer auf Papier gezeichneten, feſtgeklebten Kreiseintheilung an, welche in der Richtung des Durchmeſſers, welcher dem Nullpunkte entſpricht, und alſo auch in der Richtung der Drahtwindungen ſchlitzförmig ausgeſchnitten iſt. Eine von 90 zu 90, wenn der Kreis von 0 aus nach beiden Seiten bis 180 getheilt iſt, oder von 90 zu 270, wenn die Eintheilung von 0 bis 360 geht, gezogene Linie dient zur beſſeren Orientirung. Gewöhnlich ſind bei 90 und 270 Stifte angebracht, damit die Nadel nicht ganz herumgeworfen wird. Du Bois *****) hat, weil heftiges Anſchlagen der Nadeln gegen dieſelben theils zu ſtarke Schwankungen hervorbringt, theils dem Magnetismus nachtheilig werden kann, den Gebrauch zweier nahe doppelten Coconfäden vorgezogen, welche von dem Aufhängepunkte der Nadel aus durch kleine in der Theilung angebrachte Oeffnungen zu beiden Seiten des Rahmens herabhängen, und unterhalb des Spielraums der unteren Nadel mit kleinen unmagnetiſchen Gewichten, z. B. einem Stück Platindraht, beſchwert ſind. Die Nadel fängt ſich an dieſen Hemmungen auf die angemeſſenſte Weiſe. Auch ganz dünne und alſo ſehr leicht biegſame Glimmerblättchen, gegen welche die Nadel ſchlägt, haben ſich bewährt. Bei aſtatiſchen Nadeln dient die obere Nadel zugleich als Zeiger; bei einer einfachen Nadel iſt oben noch ein feiner Silberdraht oder eine Schweinsborſte als Zeiger befeſtigt.

---

*) Gilbert's Ann. Bd LXVII. S. 429.
**) Gilbert's Ann. Bd. LXXIII. S. 366.
***) Philos. Transact. for 1830. p. 215.
****) Wiener Zeitſchrift. Bd. IV. S. 42. Bibl. univ. T. XXXVIII. p. 127.
*****) Unterſuchungen über thieriſche Elektricität von E. Du Bois-Reymond. Berlin 1848. Bd. I. S. 201.

Der ungefähr 140^{mm} lange Coconfaden wird an der Nadel an einem Häkchen angeknüpft und oben an einer Schraube, die ſich an einem Ständer befindet, aufgewickelt, ſo daß der Faden möglichſt genau im Mittelpunkte der Kreiseintheilung hängt, oder an einem kantigen Stäbchen oben am Ständer befeſtigt, welches ſich durch eine Schraube auf und nieder ſchieben läßt, ohne ſelbſt gedreht zu werden.

Ueber den ganzen Apparat wird eine Glasglocke geſtellt zur Vermeidung des Luftzuges, wobei es ſich von ſelbſt verſteht, daß die Stellſchrauben und die Schraube, an welcher der Coconfaden hängt, zugänglich bleiben müſſen; die Glocke ſteht deshalb auf dem drehbaren Brettchen, und oben geht die Schraube durch ein in der Glocke befindliches Loch, wie Beides an beiſtehender Abbildung zu ſehen iſt.

Soll der Apparat von einer Stelle zur anderen getragen werden, ſo ſchraubt man den Coconfaden herunter, ſo daß die Zeigernadel auf dem eingetheilten Kreiſe feſt aufliegt, weil ſonſt der Coconfaden leicht reißt. Beim Gebrauche ſchraubt man den Faden wieder in die Höhe, bis die Nadel ſchwebt, und ſtellt den Apparat, indem man das Brettchen dreht, welches den Rahmen trägt, ſo daß der Nullpunkt der Kreiseintheilung nach Norden liegt, alſo der Schlitz auf derſelben im magnetiſchen Meridiane ſich befindet. Da aſtatiſche Nadeln, weil ſelten beide Nadeln gleich ſtark magnetiſch ſind, nicht immer in jeder Stellung ſtehen bleiben, ſondern einen durch die ſtärkere Nadel bedingten Stand annehmen, ſo hat man dafür zu ſorgen, daß der Nullpunkt der Kreiseintheilung mit der Richtung der Nadel zuſammenfällt.

Stellt man mit einem ſolchen Multiplicator Meſſungen an, ſo hat man nicht den erſten Ausſchlag zu beobachten, ſondern den Stand der Nadel oder vielmehr ihre Abweichung, nachdem ſie zur Ruhe gekommen iſt. — In gewiſſen Fällen ſtellt man den Multiplicator mit ſeinen Windungen wohl auch ſenkrecht auf die Richtung der Magnetnadel. Dann bewirkt der durch ihn gehende Strom keine Ablenkung der Nadel, ſondern er wirkt den Erdmagnetismus verſtärkend dahin, die Nadel noch mehr in ihrer Stellung zu befeſtigen. Nach der Oscillationsmethode*) kann man hierauf beſtimmen, um wie viel durch den Strom die den Magnet richtende Kraft verſtärkt worden iſt.

Die Verbindung der aſtatiſchen Nadel mit dem Multiplicator rührt von Nobili her**). Da bei dieſer Einrichtung zweier entgegengeſetzter Magnetnadeln der Strom offenbar auf die untere ſtärker, als auf die obere Nadel wirkt, ſo ſchlug Schweigger für zwei Nadeln den Gebrauch der elektromagnetiſchen Schleife vor***), die aber keinen Eingang gefunden hat. Eben ſo

*) Art. Magnetismus. Bd. IV. S. 762

**) Schweigger's Journal. Bd. XLV. S. 249. Pogg. Ann. Bd. VIII. S. 338. und Bd. XX. S. 214 u. 243. Bibl. univ. T. XXIX. p. 119.

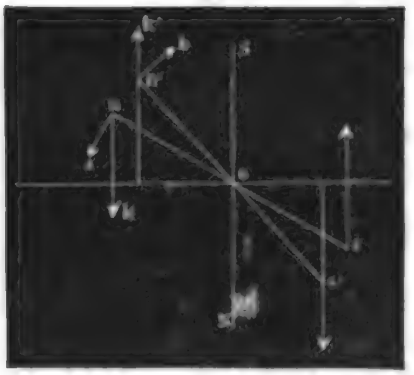
***) Schweigger's Journ. Bd. XLV. S. 254.

hat man dem Vorſchlage, vier Nadeln zu verwenden *), keinen Beifall geſchenkt, da hierdurch, wie Nobili nachgewieſen hat, der Apparat keineswegs an Empfindlichkeit gewinnt. Die genaueſten Unterſuchungen über den Multiplicator hat Du Bois-Reymond **) angeſtellt. Das Verhältniß ſeines Rahmens iſt oben bereits angeführt; die Länge des Drahtes betrug bei ſeinem Inſtrumente 1000^{m}, der Durchmeſſer deſſelben 0,17^{mm}, die Zahl der Windungen 4650; die Länge der Nadeln war 58,4^{mm}, Durchmeſſer 1,0^{mm}, Abſtand im Lichten 25^{mm}. Die Nadeln waren cylindriſch mit kegelförmigen Spitzen; jede Nadel wog 384, das neuſilberne Verbindungsſtück 408 Milligramm; ſpäter benutzte er Nadeln von gleicher Länge und Abſtand, ſie waren aber dünner und allmälig zugeſpitzt. Eine jede Nadel wog 226, das kupferne Verbindungsſtück 130 Milligramm.

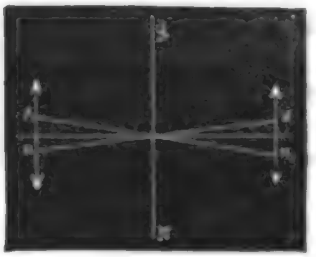
Der Draht iſt nicht leicht ganz eiſenfrei. Galvanoplaſtiſches Kupfer wäre wohl ſolches, läßt ſich aber nicht zu ſo dünnem Drahte ausziehen, als hier nöthig iſt. Selbſt durch das Ziehen durch Eiſen wird der Draht verunreinigt, und ſogar bei Du Bois-Reymond's Multiplicator war der Draht, ungeachtet die äußerſte Schicht entfernt worden war, nicht ganz rein.

Die Aſtaſie der Nadeln ſo weit wie möglich zu treiben, widerräth Du Bois. Je vollkommner aſtatiſch ein Nadelpaar iſt, deſto langſamer ſchwingt es; er brachte es höchſtens bis zu einer Schwingungsdauer von 30″, während Matteuci 70″ beobachtet haben will. Je vollkommner die Aſtaſie iſt, deſto mehr weicht die Nadel in ihrer Stellung von dem magnetiſchen Meridian ab, ſo daß ſie bei völliger Aſtaſie rechtwinklig zu demſelben ſtehen würde. Du Bois-Reymond nennt dies die freiwillige Ablenkung aſtatiſcher Nadelpaare. Schon Nobili fand den Grund hiervon darin, daß die Horizontalprojectionen beider Nadeln niemals ganz zuſammenfallen, ſondern einen mehr oder weniger großen Winkel mit einander bilden ***). Es ſeien ns und n′s′ die Horizontalprojectionen der beiden vollkommen gleichen und gleich ſtarken magnetiſchen Nadeln, NS der magnetiſche Meridian, welcher durch ihren Kreuzungspunkt o geht. Die Kräfte, welche die Nadeln zu drehen ſuchen, denken wir in ihren Endpunkten angebracht, und zwar parallel mit NS. Die in n (ſ. Figur) angreifende Kraft ſei k, ihre Entfernung von o ſei Ek, ſo iſt k.Ek das ſtatiſche Moment, mit welchem dieſe Kraft die eine Nadel in der Richtung des Pfeiles a zu drehen ſucht. Da nun am anderen Ende der Nadel eine gleiche Kraft am gleich langen Hebelarme

I.



II.



*) Ann. de Chim. et de Phys. T. XXXV. p. 118.

**) a. a. O. Bd. I. S. 162 ff.

***) Du Bois-Reymond a. a. O. Bd. I. S. 170. Moſer in Dove's Repertorium der Phyſik. Bd. I. S. 260.

in demſelben Sinne drehend wirkt, ſo iſt die Geſammtkraft, mit welcher die Nadel n s in der Richtung a gedreht wird, 2 k . Ek. Die Kraft, mit welcher die andere Nadel n' s' in entgegengeſetzter Richtung, alſo in der Richtung des Pfeiles b gedreht wird, iſt, wenn die in n' angreifende Kraft k' und ihre Entfernung von o gleich Ek' iſt, eben ſo 2 k' . Ek'. Es kann alſo nun Gleichgewicht ſein, wenn 2 k . Ek = 2 k' . Ek' iſt, was nur dann der Fall ſein wird, wenn, wie in der zweiten Figur, die Linie, welche den in der Wirklichkeit ſehr ſpitzen Winkel der Nadeln halbirt, rechtwinklig auf dem magnetiſchen Meridiane ſteht. Von dieſer Stellung wird die Gleichgewichtslage des Nadelpaares natürlich um ſo mehr abweichen, je ungleicher der Magnetismus der beiden Nadeln, oder k und k', iſt. Doch hat die freiwillige Ablenkung für den Gebrauch des Multiplicators keinen praktiſchen Nachtheil, wenn man nur die Nadel mit der Nullinie zum Einſtehen bringt und dann arbeitet, als ob ſich die Nadel im Meridiane befände.

Anders ſteht es mit dem Einfluſſe des, wie bereits erwähnt iſt, nicht eiſenfreien Drahtes. Iſt die Nadel ſehr aſtatiſch, ſo ſtimmt die Stellung der Nadel im Multiplicator nicht völlig mit der außerhalb deſſelben überein. Folgt man jetzt der Nadel mit den Windungen, ſo flieht ſie bis zu einer gewiſſen Lage derſelben vor der Nullinie her, wobei ſich der Winkel zwiſchen ihr und der Nullinie ſtets verkleinert; überſchreitet man dieſe Grenze, ſo ſchlägt die Nadel plötzlich durch den Nullpunkt durch und ſucht jenſeits deſſelben eine feſte Gleichgewichtsſtellung.

Denken wir uns ein abſolut aſtatiſches Nadelpaar, ſo ſtellt ſich ein ſolches in die Richtung einer der Diagonalen der Drahtwindungen. Bringt man das Nadelpaar über den Spalt, alſo zwiſchen beide Drahthälften, ſo ſteht es im labilen Gleichgewichte, und die geringſte Verrückung bringt die Nadeln in die Stellung der einen Diagonale. Die Größe der Kraft nun, mit welcher das Nadelpaar in verſchiedenen Punkten der Theilung durch die Drahtmaſſen afficirt wird, ſtellt Du Bois-Reymond *) durch eine Curve dar, welche er die ſtörende nennt. Da dieſe Curve für jedes Inſtrument durch beſondere Verſuche beſtimmt werden muß, ſo gehen wir hier nicht weiter darauf ein; die Art und Weiſe der Verſuche ergiebt ſich aber durch Einſicht der angeführten Stelle. Da ſomit ein Anziehungspunkt auf jeder Seite der Nullinie durch den Spalt hervorgerufen wird, ſo hat Peclet **) eine Vorrichtung angegeben, den Spalt zu vermeiden, indem er die beiden Nadeln an einem dieſelben ringförmig umfaſſenden elfenbeinernen Rahmen befeſtigte, ſo daß keine Spaltung der Windungen mehr nöthig war. Poggendorff ***) hat dieſe Vorrichtung modificirt, und Kleiner hat vorgeſchlagen, anſtatt den Spalt mit dem Kupferdrahte ſelbſt zuzuwickeln, denſelben nachträglich, wenn jene an ihrer Stelle ſind, mit paſſend zugerichteten Stücken deſſelben Kupfers auszufüllen, aus welchem die Drähte beſtehen ****).

Schröder *****) fügt ein Paar $1^1/_2$''' lange, dünne Eiſencylinder horizontal in die mittleren Stäbe des Rahmens ein, welche dazu dienen, die Windungen aus einander zu halten, und verſchiebt oder verkleinert dieſe Eiſen-

*) a. a. O. Bd. I. S. 177 ff.
**) Ann. de Chim. et de Phys. 3. Ser. T. II. p. 104.
***) Pogg Ann. Bd. LVI. S. 339.
****) Du Bois-Reymond a. a. O. Bd. I. S. 186.
*****) Pogg. Ann. Bd. LIV. S. 60.

cylinderchen so lange, bis sie die Nadel in der den Windungen parallelen Lage halten.

Corrigirt man den störenden Einfluß der Drahtmassen nicht an und für sich, so muß man die Regulirung durch einen sogenannten Berichtigungsstab bewerkstelligen. Nobili ist es, von welchem der Vorschlag ausging; Poggendorff*) hat sich damit beschäftigt; Matteuci hat eine von Ruhmkorff hierzu ersonnene Vorrichtung beschrieben; am gründlichsten hat aber Melloni den Gegenstand behandelt **). Stellt man nämlich einen Magnetstab in der Verticalebene der beiden Nadeln, wenn sie sich in ihrer Gleichgewichtslage befinden, so auf, daß seine Axe mit der Horizontalen, welche die senkrechte Entfernung der beiden Nadeln halbirt, zusammenfällt, so wirkt er mit gleichen, aber entgegengesetzten Kräften auf beide Nadeln und die Astasie des Systems bleibt unverändert. Hebt oder senkt man den Stab, so wirkt er beschleunigend oder verzögernd auf die Schwingungen des Nadelpaares. So hat man die Regulirung der Astasie ganz in der Hand. Melloni schlägt einen Stab von 200^{mm} Länge und 5^{mm} Durchmesser vor, den er auf einem Stative, welches auf- und niedergestellt werden kann und außerdem vermittelst eines Gelenkes verschiedene Neigungen des Stabes gegen den Horizont gestattet, befestigt, und stellt ihn so auf, daß die in der Azimuthebene des Nadelpaares befindliche, gegen den Horizont ungefähr um 45° geneigte Stabaxe verlängert den nächsten Pol des astatischen Nadelpaares treffen würde. Du Bois-Reymond, dessen Arbeiten mit dem Multiplicator als Muster dienen können, hat meistens mit dem Berichtigungsstabe gearbeitet.

Außer der magnetischen Einwirkung der Drahtmassen ist das Nadelpaar auch noch dem Einflusse der magnetischen Erdkraft unterworfen, welche für sich allein dasselbe auf dem Nullpunkte der Theilung zurückzuhalten strebt und es mit um so größerer Kraft dahin zurücktreibt, je weiter man es von demselben entfernt. Diese Kraft ist im Allgemeinen um so geringer, je vollkommener die Nadel astatisch ist. — Ist die Nadel berichtigt, so bleibt sie übrigens nicht lange in diesem Zustande, namentlich wirken Temperaturveränderungen störend ein, indem dadurch Strömungen innerhalb der von der Glocke abgesperrten Luftmasse erregt werden.

Der Multiplicator ist mithin ein äußerst delicater Apparat, und es leuchtet ein, daß derselbe zu Messungen von Stromstärken weniger geeignet ist. Die Ablenkungen sind den Stromstärken übrigens nicht einmal proportional, höchstens innerhalb der ersten 20 Grade kann diese Proportionalität annähernd angenommen werden. Um daher die relative Stärke von Strömen zu messen, muß man sich anderer Apparate bedienen, die wir im zweiten Abschnitte dieses Artikels besprechen werden, oder man muß den Multiplicator empirisch graduiren. Da diese Graduirung doch nur wenig Werth haben wird, indem das Instrument Veränderungen ausgesetzt ist, und man dann auch auf Empfindlichkeit verzichten muß, so verweisen wir hier nur auf eine ausführliche Abhandlung von Poggendorff***) in welcher auch die älteren Methoden angegeben sind. Nobili, Nervander, Peltier, Petrina u. A. haben sich damit beschäftigt, wor-

*) Pogg. Ann. Bd. LVI. S. 370.
**) Du Bois-Reymond a. a. O. S. 188 ff.
***) Pogg. Ann. Bd. LVI. S. 324.

über Du-Bois-Reymond (a. a. O. S. 198) die nöthige Literatur giebt *). Man wird dieſe Apparate meiſtens nur benutzen, um die Unterſchiede zwiſchen den Intenſitäten der verſchiedenen Ströme aus der größeren oder geringeren Ablenkung der Nadel zu erkennen, ohne daß es auf eine ſcharfe Meſſung ankommt. Dies wird namentlich bei ſchwachen Strömen vorkommen, und da iſt die Empfindlichkeit des Apparates die Hauptſache.

Wir führen daher nur noch hiſtoriſch an, daß Hachette **) einen Multiplicator conſtruirte, bei welchem der Draht um ein kleines Hufeiſen von weichem Eiſen gewickelt wurde. Der ſo gebildete Elektromagnet wirkte auf eine Magnetnadel ein. Bei von Göthe ***) wird ein Multiplicator von Demonferrand erwähnt, der aber nicht in Gebrauch gekommen iſt. Pouillet ****) ſchlug vor mehrere einzelne Drähte, z. B. 5 von 60 Fuß Länge, ſtatt eines einzigen von 300 Fuß Länge zu nehmen und die Enden in einen einzigen dickeren Draht durch Anlöthen zu vereinigen. Auch dieſe Einrichtung iſt nicht in allgemeinen Gebrauch gekommen. Jacobi *****) hat vorgeſchlagen, an die Magnetnadel unten ein kleines Platinblech zu befeſtigen, welches in ein kleines Gefäß mit Oel taucht, um die Nadel ſchneller zur Ruhe zu bringen. Buff †) hat darauf aufmerkſam gemacht, daß Multiplicatorgewinde mit weiter innerer Höhlung, durch paſſende Auswahl einer aſtatiſchen Nadel, in Galvanoſkope von verhältnißmäßig großer Empfindlichkeit verwandelt werden können.

Wegen der Kraft, mit welcher der Draht auf die Magnetnadel wirkt, iſt zu vergleichen Art. Elektromagnetismus Bd. II. S. 783. Die Unterſuchung über den Einfluß der verſchiedenen Drahtlängen bei dem Multiplicator hat namentlich Fechner geführt ††). Jeder Multiplicatordraht iſt nichts anderes, als eine in eine Kette gebrachte Leitungsverlängerung. Es kommt nach ihm überhaupt darauf an, von welcher Bedeutung der Multiplicatordraht für den Geſammtleitungswiderſtand der Kette iſt. Er äußert ſich in dieſer Beziehung, wie folgt. Wenn man einen Draht von gleichbleibender Länge nimmt und dieſen erſt eine, dann zwei, dann drei Windungen u. ſ. f. um die Nadel machen läßt, ſo nimmt die dadurch anzuzeigende Wirkung im geraden Verhältniß der Zahl der Windungen zu, wenigſtens inſofern die Windungen als in merklich gleicher Entfernung von der Nadel befindlich angenommen werden können, was wir hier vorläufig immer vorausſetzen wollen. Von dieſem Geſichtspunkt aus betrachtet kann daher ein Multiplicator mit möglichſt vielen Windungen nur vortheilhaft ſein. Allein zu einer großen Anzahl Windungen wird auch ein langer Draht erfordert, während zu wenigen Windungen ein kurzer hinreicht, und es fragt ſich, ob der vermehrte Leitungswiderſtand, den dieſe größere Drahtlänge in die Kette

*) Ann. de Chim. et de Phys. 1839. T. LXXI. p. 225. Phil. Transact. for 1853. P. II. p. 327. Pogg. Ann. Bd. LVII. S. 111 und S. 609, Bd. LIX. S. 214, Bd. LXI. S. 18 u. 50, Bd. LXIII. S. 344. Ann. der Chemie und der Pharmacie. 1843. Bd. XLV. S. 128.

**) Pogg. Ann. Bd. XXVII. S. 560.

***) Zur Naturwiſſenſchaft. Hft. II. S. 214.

****) Élémens de Phys. exper. et de Météorologie 1828. T. I. p. 695.

*****) Pogg. Ann. Bd. XLVIII. S. 29. Bullet. de l'Acad. de Petersb. T. V.

†) Ann. d. Chem. und Pharm. Bd. XC. S. 1.

††) Pogg. Ann. Bd. XLV. S. 232.

bringt, nicht unter gewiſſen Umſtänden den Vortheil der vielen Windungen compenſiren könne. In der That iſt dies der Fall. Um dies zu zeigen, wollen wir uns eine einfache Kette von ſo großer erregender Oberfläche und mit ſo guter Leitungsflüſſigkeit denken, daß der Widerſtand der Flüſſigkeit und des Ueberganges im Geſammtwiderſtande gar nicht in Betracht kommt, ſondern gegen den Widerſtand des Multiplicators merklich verſchwindet, dieſer mithin allein neben der elektromotoriſchen Kraft die Kraft der Kette beſtimmt. Da wir nun wiſſen, daß die Kraft der Kette im Verhältniß zu dem Geſammtwiderſtande ſteht, der in ihr vorhanden iſt, ſo wird ſie im jetzigen Falle im geraden Verhältniß der Verlängerung des Multiplicatordrahtes abnehmen, der hier den Geſammtwiderſtand merklich allein repräſentirt. Verlängert man alſo in dieſem Falle den Multiplicatordraht, um ihn immer mehr Windungen um die Nadel machen zu laſſen, ſo wird man durch vermehrte Windungszahl nichts anderes erlangen, als die Schwächung des Stromes durch den vermehrten Leitungswiderſtand gerade zu compenſiren, ſo daß mithin eine noch ſo ſehr vermehrte Anzahl Windungen die Wirkung weder vergrößern noch ſchwächen wird. Die Wirkung wird in dieſem Falle ganz dieſelbe ſein, wie ſie eine einzige Windung des Multiplicators von derſelben Dicke, als der Draht beſitzt, hervorgebracht haben würde, ſo daß man durch Vertauſchung des Multiplicators mit einem einmal umſchlungenen, aber dickeren Draht eine ſtärkere Wirkung erlangen wird, als mittelſt des Multiplicators ſelbſt *). Natürlich wird gerade das umgekehrte Verhältniß eintreten müſſen, wenn der Widerſtand des Multiplicatordrahtes gegen den übrigen Leitungswiderſtand der Kette verſchwindet, alſo bei kleinen Platten und ſchlechter Leitungsflüſſigkeit, insbeſondere, wenn mehrere dergleichen Platten zur Säule vereinigt ſind. In der That kann in dieſem Falle eine Verlängerung des Multiplicatordrahtes bis zu gewiſſen Grenzen gar keinen merklichen Einfluß auf die Wirkung haben. In dieſem Falle wird alſo die vervielfältigende Wirkung des Multiplicators ganz rein in Kraft treten und die Anzeige deſſelben wird wirklich in geradem Verhältniß der Anzahl ſeiner Windungen ſtehen, übrigens unabhängig von der Materie und Dicke ſeines Drahtes ſein. Nach denſelben Grundſätzen läßt ſich nun auch beurtheilen, wann es vortheilhaft iſt, einen Multiplicator aus einem einzigen langen und dünnen, eine Continuität bildenden, Drahte mit vielen Windungen, oder einem kürzeren, aber dickeren Drahte mit weniger Windungen, oder was dem letzteren äquivalent iſt, aus mehreren kürzeren parallelen Drähten anzuwenden: erſteres in allen Fällen, wo der Leitungswiderſtand in der Kette groß, letzteres, wo er gering iſt. In Bezug auf Multiplicatoren aus mehreren parallelen Drähten bemerkt Fechner Folgendes: Der Strom theilt ſich zwiſchen den parallelen Drähten des Multiplicators, und die ganze Verſtärkung, die man erhält, je nachdem man einen, zwei, oder mehrere parallele Drähte anwendet, beruht ſomit einzig darauf, daß mehrere parallele Drähte einem dickeren Drahte gleich wirken, welcher wegen ſeines geringeren Leitungswiderſtandes eine größere Stromſtärke verſtattet. In allen den Fällen daher, wo eine vermehrte Dicke des Drahtes die Wirkung nicht merklich verſtärken würde, wegen Verſchwindens gegen den übrigen Leitungswiderſtand, wird auch die Hin-

*) Begreiflich würde dies im höchſten Grade bei thermoelektriſchen Ketten eintreten, wo weder ein Widerſtand der Flüſſigkeit noch des Ueberganges vorhanden iſt.

zufügung von noch so vielen parallelen Drähten nichts weiter zur Wirkungsverstärkung beitragen können; ja die Wirkung auf die Nadel wird geschwächt werden müssen, wenn die äußersten Drähte in zu große Entfernung von der Nadel kommen. Jedenfalls wird bei immer weiterer Vermehrung der parallelen Drähte zuletzt eine Grenze erreicht werden müssen, von wo an dieser letzterörterte Fall eintritt, weil man damit zuletzt dahin gelangen muß, daß der Leitungswiderstand dieser Drähte zusammengenommen gegen den übrigen Widerstand nicht mehr in Betracht kommt.

Versuche von Poggendorff dienen den Fechner'schen Bemerkungen zur Bestätigung.

Nach Untersuchungen von Ohm läßt sich die Wirkung K, welche ein Multiplicator auf die Nadel äußert, durch folgende Formel ausdrücken:

$$K = \frac{nA}{c + nl}.$$

Hierin bedeutet n die Zahl der Windungen, l den Widerstand einer einzigen Windung (welcher der Länge der Windung direct, dem Querschnitte des Drahtes umgekehrt proportional ist), A die elektromotorische Kraft der Kette, c den Widerstand, den die übrigen Theile der Kette außer dem Multiplicator dem Strom entgegensetzen. Genau ist zwar diese Formel nur für die Voraussetzung, daß alle Windungen in merklich gleicher Entfernung von der Nadel liegen, die in der Wirklichkeit nicht erreichbar ist. Ohm hat endlich durch Versuche folgende aus Fechner's angeführten Bemerkungen sich ergebenden Sätze dargethan: 1) daß die Wirkung eines Multiplicators in Fällen, wo sein Leitungswiderstand gegen den der übrigen Kette verschwindet, blos von der Anzahl seiner Windungen, aber weder von der Dicke noch der Materie des dazu gebrauchten Drahtes abhängt; 2) daß in demselben Falle die Wirkung zweier Multiplicatoren, die eine verschiedene Anzahl von Windungen erhalten haben, mit dieser Zahl in geraden Verhältnissen steigt und fällt.

II. Galvanometer.

Da das Gesetz, durch welches Ablenkungen der Magnetnadel und Stromstärken mit einander verknüpft sind, weil die verschiedenen Instrumente in ihren Verhältnissen von einander abweichen, für jedes einzelne Instrument durch Rechnung nicht zu bestimmen ist, so muß man sich eines bestimmten Instrumentes zur Ermittelung der relativen Stromstärken bedienen, an welchem die Stromstärken eine bekannte Function der Ablenkungswinkel ausmachen. Hierzu sind mehrere Instrumente in Vorschlag gebracht.

Fechner's Galvanometer*) mit auf die Windungen senkrechter Nadel, deren Schwingungsdauer als Maß des Stromes dient, wie bereits im ersten Abschnitte dieses Artikels bemerkt worden ist.

Becquerel's elektromagnetische Waage**), deren sich auch Jacobi und Lenz bei ihren Untersuchungen bedienten***) und die im Wesent-

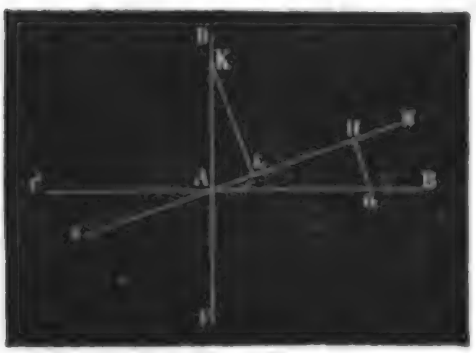
*) Pogg. Ann. Bd. XXVII. S. 471.
**) Pogg. Ann. Bd. XLII. S. 307.
***) Pogg. Ann. Bd. XLVII. S. 226.

lichen aus einem feinen, bei einem Milligramme einen Ausſchlag gebenden Waagebalken beſteht. Die von den Armen herabhängenden Drähte halten Waageſchalen und tragen an ihrem unteren Ende jeder einen vertical herabhängenden, mit dem Nordpole nach unten gerichteten Stahlmagnet. Die Magnetſtäbe hängen in Glasröhren hinein, die mit 10000 Windungen mit Seide überſponnenen Kupferdrahtes umwickelt ſind, wobei die Aren der Stäbe und Windungen zuſammenfallen müſſen. Durchſtrömt ein elektriſcher Strom dieſen Draht, ſo tritt eine Wirkung auf die Magnete ein, der Magnet wird gehoben oder ſenkt ſich herab, und nach dem Laufe des Gewindes können beide Magnete den Balken in gleichem Sinne bewegen. Bringt man durch aufgelegte Gewichte Gleichgewicht hervor, ſo kann man aus den verſchiedenen Gewichten bei verſchieden ſtarken Strömen auf die relative Stärke der Ströme ſchließen.

Wilhelm Weber's biſilar aufgehängte Drahtrolle, von welcher bereits im Art. Elektromagnetismus Bd. II. S. 809 und im Art. Magnetometer das Erforderliche mitgetheilt iſt.

Oſann's Jodgalvanometer*), bei welchem die Platinelektroden ſehr ſchwacher volta'ſcher Ketten in ungleichen meßbaren Abſtänden mit einer kleinen Quantität Stärkekleiſter in Berührung gebracht werden, auf welchen mittelſt einer Glasröhre ein Tropfen Jodkalium getröpfelt iſt. Aus der Stärke der Färbung und dem Abſtande der Platindrähte wird dann auf das Vorhandenſein und die Stärke des galvaniſchen Stromes geſchloſſen.

Pouillet's Tangentenbuſſole**) beruht darauf, daß, wenn ein elektriſcher Strom in der Ebene des magnetiſchen Meridians über oder unter einer Magnetnadel hinweggeht, ſeine elektromagnetiſche Kraft der Tangente des Ablenkungswinkels proportional iſt. Iſt nämlich (ſ. nebenſtehende Figur) C B die Richtung des magnetiſchen Meridians, ſo erhält die Magnetnadel durch den Erdmagnetismus M allein die Richtung C B; eben ſo durch die Wirkung des elektriſchen Stromes E allein die darauf ſenkrechte Richtung D F. Durch beide Kräfte kommt die Nadel in die Richtung S A N; iſt nun A G = M und A K = E, ſo zerlege man A G in eine Kraft parallel A N und eine andere ſenkrecht auf A N, alſo in A H und G H, eben ſo A K in A L und K L. Hier bringen A L und A H keine Ablenkung hervor, wohl aber K L und G H. Steht die Nadel in Ruhe, ſo muß K L = G H ſein, d. h. M . sin x = E . sin y, wenn < H A G = x und < K A L = y geſetzt wird; da nun sin y = cos x iſt, ſo erhält man:



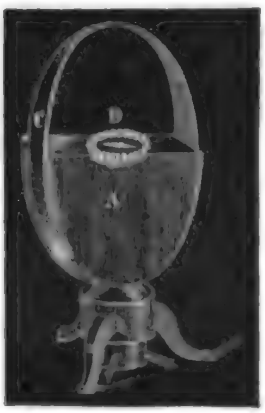
$$E = M \frac{\sin x}{\cos x} = M \,.\, \mathrm{tgs}\, x$$

und folglich für einen zweiten Strom, deſſen Stärke E' ſei,

*) Die Anwendung des hydroelektriſchen Stromes als Aetzmittel. Würzburg 1842. S. 5.
**) Élémens de Phys. exper. et de Météorol. 3me éd. Paris 1837. T. I. p. 612.

$$E' = M \cdot \operatorname{tgs} x', \text{ alſo:}$$
$$E : E' = \operatorname{tgs} x : \operatorname{tgs} x'.$$

Es beſteht nun die Tangentenbuſſole aus einem ſtarken kupfernen, etwa 2 Millimeter dicken, 1 bis 2 Centimeter breiten und 20 bis 30 Centimeter im Durchmeſſer haltenden Ringe C C (ſ. beiſtehende Figur), deſſen Enden nicht zuſammengelöthet, ſondern geradlinig abgebogen ſind.



Dieſe beiden Enden werden durch zwiſchengelegte Seide oder durch ein gefirnißtes Brettchen, welches mit dem Kupferſtreifen gleiche Breite hat, iſolirt, dann durch einen Holzcylinder geſteckt und durch eingelegte Holzſtückchen in dieſem ſo befeſtigt, daß ſich das Ganze noch in dem Cylinder drehen läßt. Der Holzcylinder hat drei Füße mit Stellſchrauben und zwiſchen dieſen ragen die hervortretenden und da umgebogenen Enden des Kupferſtreifens heraus, ſo daß man an denſelben die Schließungsdrähte des zu unterſuchenden Stromes befeſtigen kann. Die untere Hälfte des Ringes wird durch ein Holzſtück A ausgefüllt, deſſen obere Seite im horizontalen Durchmeſſer des Ringes liegt und da zur Aufnahme einer Buſſole D mit einer nur 1 Zoll langen Magnetnadel vertieft ausgeſchnitten iſt. Der Boden der Buſſole iſt zur Vermeidung der Parallaxe beim Ableſen ein Glasſpiegel; der Durchmeſſer des Nullpunktes liegt in der Ringebene. Beim Gebrauch wird der Ring ſo gedreht, daß die Nadel auf Null zeigt und, um dies beſſer beobachten zu können, bringt man zweckmäßig ſenkrecht auf derſelben in ihrem Drehpunkte einen horizontalen Drahtſtift an, der bei richtiger Stellung dann auf 90 und 270 ſtehen muß, wenn ſein Bild und er ſelbſt in einer verticalen Ebene liegen. Beim Ableſen der Ablenkung iſt eben ſo zu verfahren, daß die Nadel genau ihr Bild deckt.

Ueber dieſe Tangentenbuſſole hat Despretz Unterſuchungen angeſtellt und nachgewieſen, daß die Ablenkung nicht in der oben angegebenen Weiſe im Verhältniſſe ſteht. Dies würde nur dann ſein, wenn die Nadel unendlich klein oder der Ring unendlich groß wäre. Auch bei einem Metallringe von 50 Centimetern im Durchmeſſer und einer Nadel von nur 4 Centimetern Länge iſt die Stromſtärke der Tangente des Ablenkungswinkels nicht genau proportional. Despretz hat deshalb eine Formel gegeben, in welcher das Verhältniß der Größe der Nadel und des Ringes Berückſichtigung gefunden hat. Bei einer Buſſole mit einem Ringe von 1 Meter Durchmeſſer und einer Nadel von 3 Centimetern Länge erhielt er auf 20—80 Grad nicht mehr als 2 Minuten Unterſchied. Da die großen Buſſolen unbequem ſind, ſo ſchlägt er vor den Ring aus 4 durch ein ſeidenes Band iſolirten Metalldrähten zu bilden, wodurch man die Empfindlichkeit der kleinen Buſſolen erhalten würde. Gaugain und Bravais haben dadurch die Proportionalität zu erzielen geſucht, daß ſie die Nadel aus der Ebene des vom Strome durchlaufenen Kreiſes herausſetzten, doch ſo, daß die Mitte der Nadel immer in der auf der Mitte des Kreiſes errichteten Perpendikulären bleibt. Wenn dann die Nadelmitte von der Mitte des Kreiſes in einer Entfernung gleich $^1/_4$ des Durchmeſſers des Kreiſes iſt, ſo ſoll jene für den Verſuch genaue Proportionalität für alle Grade der Ablenkung eintreten, während bei kleinerem oder größerem Abſtande eine mit der Abweichung

von der genannten Lage zunehmende Abweichung von dieſer Proportionalität ſtatt habe, und zwar für beide Fälle mit entgegengeſetzten Vorzeichen. Gaugain hatte dies Reſultat durch Verſuche gefunden, Bravais unterwarf dies dann der Rechnung. Nach dieſer Rechnung iſt indeſſen die Proportionalität der Stromſtärke mit der Tangente des Ablenkungswinkels auch nur in ſo weit genau, als die Nadellänge nicht zu groß im Verhältniſſe zum Durchmeſſer des galvaniſchen Kreiſes iſt, oder als man die Größe $\frac{126}{125}\frac{l^4}{R^4}$ gegen die Einheit vernachläſſigen kann, wo l die halbe Nadellänge (von der Mitte bis zum Pole gerechnet), R den Halbmeſſer des Kreiſes bezeichnet. Gaugain's Ergebniß iſt alſo theoretiſch nicht hinreichend begründet. Gaugain kam durch ſeine Unterſuchungen übrigens noch zu einer Abänderung der Tangentenbuſſole, die er auch ausführen ließ. Er wickelte nämlich einen Multiplicator in ſolcher Kegelform auf, daß, während die Kegelſpitze nach der Mitte der Nadel zu lag, für jede Windung das oben angegebene Abſtandsverhältniß ſtattfand *). V. Pierre hat die Rechnung, welche Bravais auf den höheren Calcul baſirt hatte, elementar geführt und daſſelbe durch eine Annäherungsrechnung bewieſen **).

Pouillet's Sinusbuſſole ***) gründet ſich darauf, daß die elektromagnetiſche Kraft des Stromes dem Sinus des Ablenkungswinkels proportional iſt, wenn man dem elektriſchen Strome zuerſt die Richtung des magnetiſchen Meridians giebt und ihn dann ſo lange in der Richtung dreht, in welcher die Magnetnadel, über oder unter welcher der Strom hinweg geht, abgelenkt wird, bis Strom und Nadel ein und dieſelbe Richtung haben. Es wird nämlich dann, wenn wir von der bei der Tangentenbuſſole zu Grunde gelegten Figur ausgehen, der dort mit y bezeichnete Winkel = 90°, alſo $E : M = \sin x : 1$ und mithin $E = M \cdot \sin x$, ſo daß für zwei verſchiedene Ströme die Proportion gilt:

$$E : E' = \sin x : \sin x'.$$

Die Sinusbuſſole ſelbſt beſteht aus einem mehrmals um einen hölzernen Kreis von 12 bis 20 Millimeter Durchmeſſer gewundenen überſponnenen Kupferdrahte, in deſſen Mittelpunkte eine Magnetnadel aufgeſtellt iſt, welche ſich in einem mit dem hölzernen Ringe feſt verbundenen Gehäuſe befindet, wie nebenſtehende Figur zeigt. Dies Syſtem iſt an einer mit einem horizontalen getheilten Kreiſe concentriſchen Axe befeſtigt, auf welchem die Ableſung geſchieht. Zu Anfange des Verſuchs ſteht der Zeiger auf Null, wenn die Drahtwindungen im magnetiſchen Meridiane ſtehen. Wird der Strom geſchloſſen, ſo folgt man der abgelenkten Nadel, bis Nadel und Draht wieder in einer Ebene liegen, und lieſt die Ablenkung ab.

*) L'Instit. 1853. Janv. p. 34. Compt. rend. T. XXXVI. p. 191—193 u. 193—197.
**) Pogg. Ann. Bd. XCIV. S. 165 Wiener Akad. Bericht. Bd. XIII. S. 527.
***) Élémens etc. 3me éd. T. I. p. 604. 611.

Die Sinusbuſſole iſt auch für kleinere Ströme empfindlich, was bei der Tangentenbuſſole nicht der Fall iſt. Die Empfindlichkeit wächſt mit der Anzahl der Drahtwindungen. Poggendorff*) hat die Nadel an einem Coconfaden aufgehängt und, um das Schwanken zu vermeiden, auf der unteren Seite einen zweiten Faden herabhängen laſſen, der ein kugelförmiges Gewicht trägt und in eine verticale Glasröhre hineinreicht. Der Apparat Poggendorff's gab ſo befriedigende Reſultate, daß derſelbe der Sinusbuſſole den Vorzug vor allen anderen Apparaten einräumte.

Da die Sinuſſe nicht wie die Tangenten ins Unendliche wachſen, ſo kann bei Strömen gewiſſer Stärke das Inſtrument unbrauchbar werden. Man hilft dieſem Uebelſtande dadurch ab, daß man ſtatt eines einfachen Drahtes die Windungen aus zwei zuſammengedrehten Drähten beſtehen läßt, deren beider Wirkungen auf die Magnetnadel daher gleich ſind. Den einen dieſer Drähte verlängert man nun durch Einſchaltung eines Drahtes und vermehrt dadurch deſſen Leitungswiderſtand, wodurch man im Stande iſt, die Summen beider Ströme und ihre Unterſchiede zu meſſen. Da der Unterſchied beliebig gewählt werden kann, ſo hat man es in ſeiner Gewalt, Ströme der verſchiedenſten Intenſitäten zu meſſen. Auch dadurch würde man den Zweck erreichen, daß man die Drahtwindungen der Axe der Magnetnadel nicht parallel richtete, ſondern beide einen conſtanten Winkel mit einander machen ließe, welcher ſelbſt bis 90 Grad betragen könnte. Vortheilhaft iſt es, Drahtgewinde von verſchiedener Länge und Dicke für den jedesmaligen Zweck einſetzen zu können; doch reichen meiſtens 4 Windungen eines Drahtes von $^2/_3$ Millimeter Durchmeſſer aus.

Dieſe Inſtrumente geben nur die relative Stromſtärke; die abſolute Stromſtärke zu meſſen verſuchte ſchon Nobili, indem er dieſelbe auf den Erdmagnetismus zurückführen wollte und zwar dadurch, daß er einander möglichſt gleiche Nadeln — eine gewiſſe Nummer Aachner Nähnadeln — der vereinten Wirkung des Stromes und des Erdmagnetismus unter möglichſt gleichen Umſtänden ausſetzte**). Dieſer Vorſchlag hat nur hiſtoriſches Intereſſe, denn das Ziel iſt ſeitdem auf anderen Wegen weit ſicherer erreicht worden. Faraday's Entdeckung der beſtimmten oder feſten elektrolytiſchen Action führte zu dem Voltameter. Das hierauf Bezügliche findet ſich im Art. Galvanismus Bd. III. S. 339 bis 347; es ſei daher hier nur noch nach Du Bois-Reymond (a. a. O. Bd. I. S. 199) Folgendes erwähnt. „Man hält, mittelſt eines Stromes von beſtändiger Kraft, die Nadel unbeweglich auf einer beſtimmten Stelle der Theilung, z. B. 10° feſt. In den Kreis der Kette findet ſich zugleich die Löſung eines Metallſalzes zwiſchen Elektroden aus demſelben Metalle eingeſchaltet. Der Strom zerſetzt die Löſung, deren Metall ſich galvanoplaſtiſch auf der negativen Elektrode niederſchlägt, während ſich das gleiche Gewicht davon von der poſitiven auflöſt. Hat man nun den Unterſchied des Gewichts der Elektroden vor dem Verſuche beſtimmt, und beſtimmt ihn abermals nach einer gewiſſen Dauer deſſelben, ſo iſt die halbe Veränderung dieſes Unterſchiedes, auf eine gewiſſe beliebige Zeiteinheit zurückgeführt, das abſolute Maß eines Stromes, der die Nadel des Multiplicators in dieſer beſtändigen Ablenkung zu halten vermag. Es

*) Pogg. Ann. Bd. L. S. 594.
**) Ann. de Chim. et de Phys. T. XLIII. p. 146.

kommt bei Bestimmungen der Art vornehmlich auf zwei Punkte an: auf die Wahl des Salzes, dessen Metall sich gut galvanoplastisch niederschlägt und ein möglichst großes Atomgewicht hat; zweitens darauf, daß man den Versuch so lange als möglich währen lasse, um auch auf diese Weise die Menge des niedergeschlagenen Metalls nach Kräften zu vergrößern."

Nach demselben ist es am besten: „Man schaltet einfach die Zersetzungszelle, statt in den Multiplicatorzweig der Nebenschließung, in den anderen von geringerem Widerstande ein, und bestimmt das Verhältniß der Widerstände des ersteren und des letzteren die Zelle enthaltenden Zweiges. So kann man in beliebig kurzer Zeit ein beliebig großes Gewicht niedergeschlagenen Stromäquivalents erhalten, welches man nur mit dem umgekehrten Verhältniß der Widerstände der beiden Zweige zu multipliciren braucht, um das gesuchte Empfindlichkeitsäquivalent des Multiplicators zu erhalten.

Wegen Benutzung der Intensität des Erdmagnetismus zur absoluten Bestimmung der Stromstärke verweisen wir auf das oben bei Erwähnung der Weber'schen biflar aufgehängten Drahtrolle Citirte und namentlich auf Art. Magnetometer. Wie man den nach absoluten Maße bestimmten Magnetismus eines Stahlmagnets dazu benutzen könne, die Stärke eines galvanischen Stromes in absolutem Maße zu ermitteln, ist unter Anderem aus der Abhandlung von v. Feilitzsch *) zu ersehen, in welcher derselbe eine Methode, galvanische Ströme nach absolutem Maße zu messen, vorschlägt, die er selbst mehrmals ausgeführt hat. Die Methode selbst hier zu beschreiben, darauf glauben wir um so mehr verzichten zu müssen, da sie ziemlich unbequem in der Beobachtung und weitläufig in der Rechnung ist, überdies nur Stromstärken innerhalb enger Grenzen zu messen gestattet.

Wegen Bestimmung der Stromstärke mittelst der elektromotorischen Kraft ist zu vergleichen Art. Strom, elektrischer, worauf schon in Art. Galvanismus Bd. III. S. 316 dieserhalb verwiesen ist. H. E.

*) Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 21.

Druckfehler und Berichtigungen zum vierten Bande.

Seite 44 Zeile 23 von oben lies der Erde ſtatt dem Ende.
" 62 " 24 " " " Stellen ſt. Wellen.
" 64 " 18 " unten " Beugungsfigur ſt. Beleuchtungsfigur.
" 67 " 18 " oben " hiernach ſt. hier noch.
" 74 " 13 " unten " $\frac{A \sin \gamma}{A \cos \gamma} =$ ſtatt $\frac{A \sin \gamma}{A \cos \gamma} -$.
" 86 In Figur IV. muß p' ſtatt D' ſtehen und unterhalb f fehlt p.
" 91 Zeile 16 von unten lies β, ſtatt β und mithin.
" 94 " 22 " " " ſucht ſt. ſteht.
" 115 In der Figur darf die Biegung nur zwiſchen a und b' ſein und der dazwiſchen liegende Theil von ab' muß fehlen.
" 116 Zeile 4 von unten lies Inſolation ſtatt Iſolation.
" 143 " 8 " oben " oder ſt. aber.
" 187 In der Figur muß f auf der verlängerten CB ſtehen.
" 269 Zeile 3 von unten lies Athapescow ſtatt Athapescom.
" 359 " 18 " oben " Eckpunkten ſt. Endpunkten.
" 464 " 14 " " " die ſt. das.
" 467 Die Figur muß bei AC und BD geſchloſſen ſein.
" 517 Zeile 20 von oben lies 0,4 ſt. $^1/_4$.
" 544 " 11 " " " verre ſt. vepre.
" 553 " 3 " " " $f = -\frac{Rr}{(n-1)r - R}$ ſt. $f = \frac{Rr}{(n-1)(r-R)}$.
" 560 " 9 " unten " g ſt. G.
" 568 In der Anmerkung muß unter 1, sin MAC ſtatt sin CAD und sin CAD ſtatt sin MAD ſtehen.
" 578 Zeile 6 von oben fehlt die Unterzeichnung H. E. des Art. Linſenglas.
" 712 " 5 " " lies Ruder ſt. Räder.
" 796 " 11 " unten " magnetiſchen Körpers ſt. magnetiſchen.
" 932 " 14 " oben " analytiſch ſt. anylitiſch.

Druck von Otto Wigand in Leipzig.

Digitized by Google

Digitized by Google

RETURN TO ⟶ CIRCULATION DEPARTMENT
202 Main Library

15647

LOAN PERIOD 1 HOME USE	2	3
4	5	6

ALL BOOKS MAY BE RECALLED AFTER 7 DAYS

Renewals and Recharges may be made 4 days prior to the due date.

Books may be Renewed by calling 642-3405.

DUE AS STAMPED BELOW

AUG 8 1986

AUTO. DISC.

AUG 12 1986

UNIVERSITY OF CALIFORNIA, BERKELEY
BERKELEY, CA 94720

FORM NO. DD6,

Digitized by Google

YD 28976

GENERAL LIBRARY - U.C. BERKELEY

B000993638

Digitized by Google